

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 1**

**Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Especificaciones del proyecto .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto .....</b>	<b>4</b>
3.1. Características principales .....	4
3.2. Tipos de buques de apoyo .....	5
3.3. Buques para fines especiales .....	8
3.4. Consideraciones del proyecto .....	9
<b>4. Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto. Bases de datos.10</b>	
4.1. Cuaderno 1: Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina .....	10
4.2. Cuaderno 2: Dimensionamiento .....	10
4.3. Cuaderno 3: Formas .....	11
4.4. Cuaderno 4: Disposición general .....	11
4.5. Cuaderno 5: Cálculos de Arquitectura Naval .....	12
4.6. Cuaderno 6: Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones .....	12
4.7. Cuaderno 7: Planta propulsora y cámara de máquinas .....	13
4.8. Cuaderno 8: Equipos y servicios .....	13
4.9. Cuaderno 9: Planta eléctrica .....	13
4.10. Cuaderno 10: Resistencia estructural .....	14
4.11. Cuaderno 11: Pesos y centro de gravedad del buque en rosca .....	14
4.12. Cuaderno 12: Situaciones de carga y resistencia longitudinal .....	14
4.13. Cuaderno 13: Presupuesto .....	15
4.14. Cuaderno 14: Memoria final .....	15
4.15. Cuaderno 15: Comportamiento en aguas de la costa de Cantabria .....	15
4.16. Bases de datos .....	15
<b>5. Problemas principales del proyecto y soluciones adoptadas .....</b>	<b>17</b>
<b>6. Bibliografía general .....</b>	<b>18</b>
6.1. Bibliografía básica .....	18
6.2. Bibliografía complementaria .....	18

## **Figuras**

Figura 1. Remolque de una plataforma de perforación .....	3
Figura 2. PSV .....	6
Figura 3. AHTS .....	6
Figura 4. MPSV .....	6
Figura 5. Well Stimulation Vessel.....	7
Figura 6. Offshore Carrier .....	7
Figura 7. Safety Standby Vessel.....	7
Figura 8. Fast Crew Supplier .....	7
Figura 9. Otros buques offshore .....	8

## **Tablas**

Tabla 1. Buques base .....	16
----------------------------	----

## **1. Introducción**

El contenido de esta memoria explicativa tiene como finalidad hacer una presentación del buque objetivo y exponer la filosofía del proyecto.

Las explotaciones offshore, tanto de gas como de petróleo, requieren para el desarrollo de sus actividades una flota auxiliar que les permita operar en plataformas situadas en yacimientos marinos, lugares alejados de la costa que demandan el cumplimiento de unos requisitos:

- Remolque de plataformas para emplazarlas y fondearlas en la zona de perforación.

- Análisis geológicos de la corteza submarina para detectar bolsas de petróleo o gas.

- Medir y registrar las condiciones de viento, oleaje, corrientes, topografía submarina, características de los sedimentos del fondo, campos magnéticos, etc.

- Transporte de personal y suministros.

- Tendido de cables y anclas.

- Lucha contra incendios y contra la contaminación y proporcionar seguridad al personal de buques y plataformas en caso de accidente.

- Labores de inspección y mantenimiento de las plataformas y los pozos submarinos.

- Mantenimiento de las boyas de atraque de petroleros.



*Figura 1. Remolque de una plataforma de perforación*



El tipo de buques que componen esta flota es muy especializado y pueden llevar a cabo multitud de tareas, lo que implica diferentes gamas de construcción. Dentro de esta flota auxiliar se engloban los buques de apoyo a plataformas.

## **2. Especificaciones del proyecto**

El título de este proyecto es “*Buque de apoyo a plataformas Mar del Norte 4500TPM*” y la descripción del mismo es la siguiente:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd’s Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

## **3. Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto**

Se comienza en este apartado explicando los buques de apoyo a plataformas, sus funciones y tipos, para entrar posteriormente a detallar el proyecto.

### **3.1. Características principales**

Las cualidades que caracterizan a este tipo de buques y que suponen los parámetros del diseño de los mismos son:

- Es necesaria una amplia cubierta de trabajo a popa del barco que sirve para la estiba de la carga: contenedores, anclas, cadenas, tubos, etc., lo que supone que toda la superestructura va situada a proa.
- La mayoría de los espacios y tanques de carga a granel se destinan al almacén y transporte del combustible, agua potable y no potable, lodo de perforación, cemento pulverizado, así como productos químicos utilizados en el proceso de perforación.
- Si es parte de las cláusulas del proyecto la necesidad de disponer de capacidad de tiro a punto fijo, se requiere la instalación, en la línea central del buque, de un chigre para remolque y manejo de anclas. Esta actividad impone tener una zona de cubierta amplia y libre de obstáculos.

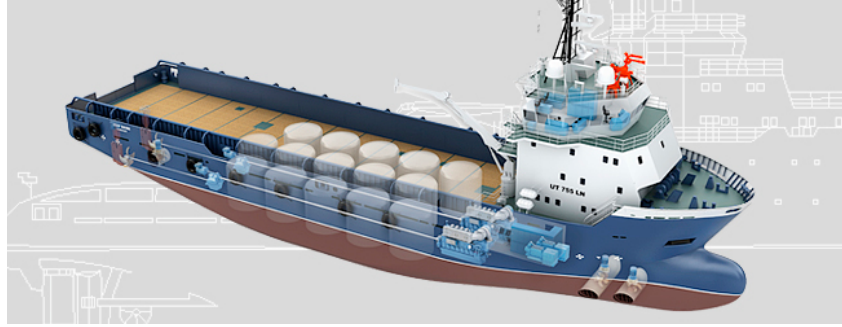
- La cámara de máquinas se encuentra en la zona central del buque. Ésta es la zona más amplia y dispone del espacio necesario para albergar los motores principales, las bombas contra incendios y los demás equipos. En este espacio los costados del buque tienen doble casco formando tanques, lo que otorga una seguridad adicional en caso de colisión.
- El tipo de sistema de propulsión condiciona notablemente el diseño del buque, pues se pueden tener buques con hélices acopladas mediante líneas de ejes a los motores, o un sistema diesel-eléctrico en el que los motores van acoplados a unos alternadores que proporcionarán la energía eléctrica necesaria.
- La habilitación está situada sobre la cubierta principal, encima de cámara de máquinas. El puente, encima de la habilitación, está diseñado para obtener una visibilidad óptima y, en algunos casos, está realizado de tal forma que entre él y la zona de habilitación se dispone un entrepuente adicional.
- En estos buques la estabilidad es importante, por tanto, tienen que tener mangas más grandes en comparación a lo que sería normal para su eslora. Los requisitos de maniobrabilidad son altos y los barcos pueden incluso hasta girar sobre sí mismos. Además, se equipan con sistemas de posicionamiento dinámico, que permiten al buque permanecer quieto en una posición con la ayuda de referencias como satélites, láser y de tipo sonar.
- En caso de emergencia se emplean como buques de rescate y cuentan con sistemas de lucha contra incendios (incluyendo fuegos externos). Algunos de estos buques están equipados con capacidad antipolución y recuperación de equipos para ayudar en la tareas de contención y limpieza de vertidos en el mar.
- Otros posibles condicionantes para el diseño de estos buques son poder llevar equipos para hacer operaciones de buceo y ROV, tener helipuerto, enfermería o acomodación para pasajeros.

Todas estas características describen las particularidades que diferencian a los buques de apoyo a plataformas de cualquier otro. Hay muchas posibles combinaciones de equipos, capacidad de carga, etc. con los que se puede armar estos barcos. Muchos de ellos se construyen para llevar a cabo un trabajo en particular y sus especificaciones serán inherentes al tipo de tarea que vayan a realizar.

### 3.2. Tipos de buques de apoyo

Se puede hacer una clasificación de distintos buques de apoyo a plataformas, atendiendo a la función que realizan.

**-Buques de suministro a plataformas de perforación, Platform Supply Vessels (PSV).** Pueden llevar a cabo tareas de aprovisionamiento siendo la función típica de estos barcos el transporte de tuberías, cemento, líquidos y carga hacia y desde tierra y las instalaciones mar adentro (offshore). Pueden utilizarse también como buques standby, de rescate, etc.



*Figura 2. PSV*

**-Anchor Handling Tug Supply (AHTS).** Se encargan de hacer tareas de manejo de anclas, remolque de las plataformas de perforación, transporte de suministros y personal y extinción de incendios. Se diferencian de los PSV en que están equipados con grúas para remolque y para manejo de anclas, con una popa abierta que permita el trabajo con éstas. Además son buques con mayor potencia para proporcionar gran capacidad de tiro a punto fijo.



*Figura 3. AHTS*

**-Multi-purpose service vessels (MPSV), buques de servicio multipropósito.** Son barcos para una amplia gama de tareas en alta mar, como alojamiento de personal, trabajos de vigilancia, la lucha contra derrames de hidrocarburos, la intervención de pozos, operaciones con ROV, tareas de construcción de las plataformas, instalación de tuberías flexibles, manejo de cables, y las normales funciones de suministro.



*Figura 4. MPSV*

**-Well Stimulation Vessel, buques para la estimulación de la producción.** Intervienen en los yacimientos de petróleo o gas para aumentar la producción, mejorando el flujo de hidrocarburos de la zona de drenaje en el agujero del pozo.



*Figura 5. Well Stimulation Vessel*

**-Offshore Carrier.** Para trabajos de transporte e instalación de plataformas. Ofrecen una solución flexible y modular para las obras de instalación en alta mar.



*Figura 6. Offshore Carrier*

**-Safety Standby Vessel.** Buques con el cometido de respuesta y rescate ante emergencias cerca de las plataformas offshore.



*Figura 7. Safety Standby Vessel*

**-Fast Crew Supplier.** Para el transporte rápido de tripulación y carga en ríos, puertos, aguas costeras y alta mar.



*Figura 8. Fast Crew Supplier*

**-Otros buques offshore especializados (Other Specialised offshore vessels).**

Incluyen otros buques especializados como de investigación, tendido de cables, maniobras de apoyo al buceo y maniobras con ROV, respuesta de emergencia, tareas de inspección, mantenimiento y reparación, o pequeños buques de perforación y FPSO.



*Figura 9. Otros buques offshore*

**-OSRV (Oil spill response vessels).** Estos buques están especialmente diseñados y preparados para luchar contra posibles derrames de hidrocarburos en la mar.

### **3.3. Buque para fines especiales**

Además de la tripulación, que suele ser de unas 20 personas que trabajan y viven a bordo durante largos períodos de tiempo, este tipo de barcos puede llevar trabajadores de las plataformas offshore u otro tipo de personal que viajan como pasajeros. Por lo cual, el diseño de la acomodación deberá tener en cuenta este hecho.

En el capítulo I, Disposiciones Generales, de la normativa de SOLAS, se define como “pasajero” toda persona que no sea:

- i) el capitán, un miembro de la tripulación u otra persona empleada u ocupada a bordo del buque en cualquier cometido relacionado con las actividades del mismo; y
- ii) un niño de menos de un año.

Un "buque de pasaje" es un buque que transporte a más de 12 pasajeros, mientras que "buque de carga" es todo aquel que no sea buque de pasaje.

Desde esta perspectiva deberemos plantear si el proyecto tendrá que cumplir la normativa referente a buques de carga o de pasaje. Si se considera buque de pasaje hay que cumplir una reglamentación diferente a la aplicable a los buques de carga y más estricta en lo que respecta a embarcaciones de supervivencia, chalecos y aros salvavidas, estabilidad, vías y rutas de escape, etc.

No obstante, no parece lógico que este tipo de buques se considere de pasaje pues su misión es hacer trabajos de apoyo a las plataformas offshore y, además, los pasajeros que lleva son personal especializado de esas plataformas.

En la Resolución A.534(13) de la OMI “*Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*”, se define como buque para fines especiales aquel buque de arqueo bruto no inferior a 500 que lleva a bordo más de 12 personas especiales incluidos los pasajeros. Personal especial es toda persona que no siendo pasajero, tripulante, ni niño de menos de un año, van a bordo por estar relacionados con las funciones especiales propias del buque o con la realización de alguna tarea especial que se esté llevando a cabo a bordo del mismo. Los buques para fines especiales que lleven ese personal no necesitan ser considerados ni tratados como buques de pasaje.

En consecuencia, las personas que transporta este buque de apoyo a plataformas se consideran como “personas especiales” y habrá que aplicar esta Resolución de la OMI.

A la hora de calcular los dispositivos de salvamento se debe aplicar los criterios de buque de carga o pasaje de acuerdo con el siguiente criterio:

-Buques para fines especiales que lleve a bordo un contingente de personas mayor de 50 miembros cumplirá con los requerimientos de buque de pasaje dedicados a viajes internacionales que no sean viajes internacionales cortos.

-Buques para fines especiales que lleve a bordo un contingente de personas menor o igual a 50 miembros cumplirá con los requerimientos de buque de carga que no sean buques tanques.

### **3.4. Consideraciones del proyecto**

El objetivo principal es la creación de una embarcación en perfecta armonía con las especificaciones. Para ello, hay que mantener un fuerte enfoque en un dimensionamiento adecuado, tanto de la estructura como de los equipos, todo ello sin perder de vista la seguridad y la economía global.

Las especificaciones del proyecto exigen la clasificación del buque conforme a las reglas de Lloyd’s Register, que impondrán condiciones para el diseño del barco. Deberá cumplirse también la normativa de los Convenios SOLAS, que trata la seguridad de la vida humana en la mar, y MARPOL, para prevenir la contaminación por los buques.

Como el sistema de propulsión es diésel-eléctrica, las hélices estarán accionadas por motores de corriente alterna asíncronos. El buque se equipará con un número de motores con capacidad suficiente para desarrollar la potencia necesaria para la propulsión. Además, contará con equipos diésel auxiliares y generador de emergencia y puerto. Para la producción de energía eléctrica a bordo se dispondrán generadores diésel.

La acomodación está prevista para 45 personas con un nivel alto de confort.



El buque proyecto podrá estar capacitado para realizar tareas que se irán determinando según se avance en el desarrollo de los cuadernos, como transporte de cargas y suministros, líquidos especiales, lucha contra incendios... Por consiguiente, la definición de todos los equipos de que disponga el buque, además de los cálculos correspondientes, se harán más adelante, todo ello cumpliendo los requisitos de las especificaciones y las normas de los reglamentos.

#### **4. Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto. Bases de datos**

Todo el trabajo es un proceso iterativo con el objetivo final de satisfacer los requerimientos de las especificaciones del proyecto, es decir, se sigue una espiral de diseño. En cada vuelta de la espiral se van estableciendo las variables del diseño, de todas y cada una de las áreas que constituyen el proyecto, de forma que en la siguiente vuelta nos movamos en un rango de variación menor de cada una de dichas variables. De este modo, se va haciendo una optimización del proyecto hasta lograr nuestro producto final de acuerdo a los objetivos prefijados. El proceso requiere tomar decisiones frente a diferentes compromisos y alternativas.

En la elaboración de este proyecto se deben seguir unas pautas que permitan hacer un desarrollo del mismo viable y adecuado a las especificaciones, además de ser acordes a las normas internacionales y reglas de la Sociedad de Clasificación. Las soluciones que se determinen deberán asegurar la operatividad del buque. El proyecto se estructura en 14 cuadernos más un cuaderno adicional para el estudio de comportamiento en la mar.

Además de estos quince cuadernos, se presentarán como anexos todos los cálculos auxiliares que se consideren necesarios.

##### **4.1. Cuaderno 1: Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina**

Es el presente cuadernillo en el que se detalla la memoria explicativa que tiene como finalidad hacer una presentación del buque objetivo y exponer la filosofía del proyecto.

##### **4.2. Cuaderno 2: Dimensionamiento**

El objetivo de este cuaderno es determinar las dimensiones principales del buque y sus coeficientes de forma, además de hacer una estimación de pesos y de potencia instalada. Los resultados obtenidos servirán como punto de partida para completar el resto de cuadernos.

Para esto se parte de la elaboración de una base de datos de buques similares al buque proyecto obteniendo la información de revistas y páginas Web especializadas. A continuación, se hace un dimensionamiento inicial mediante una serie de correlaciones empleando los buques de la base de datos.

Por último, se estudian las diferentes alternativas y se elige la más adecuada a las especificaciones del proyecto. Se procede entonces a la estimación de las características principales del buque: eslora entre perpendiculares, manga, puntal, calado, francobordo, coeficiente de bloque, coeficiente en la flotación, coeficiente de la maestra, coeficiente prismático, potencia y desplazamiento.

#### **4.3. Cuaderno 3: Formas**

En este cuaderno estudiamos las formas que va a tener el buque proyecto, con el fin de obtener información sobre los coeficientes de la carena, los perfiles de proa y popa, el bulbo, el plano de formas y la curva de áreas.

Se toma como punto de partida las formas de un buque base de características similares al de proyecto. Con la configuración obtenida, mediante un programa de CAD, se importarán los puntos al programa Maxsurf para poder reconstruir el casco y, posteriormente, se harán las transformaciones oportunas para obtener las formas del buque de las dimensiones que obtuvimos en el cuaderno anterior. Hay que tener en cuenta que tienen que ser lo más hidrodinámicas posible, poniendo atención en las curvaturas para que el casco no tenga abolladuras.

Otra forma de proceder es trabajar directamente con un buque base tipo supply offshore del programa Maxsurf. A partir de éste se modifican las formas y las dimensiones de modo que se obtenga un casco modelo que se pueda exportar a un programa de CAD. Hay que poner también atención a las abolladuras del casco mediante la curvatura de las formas.

Una vez obtenidas las formas definitivas, se obtiene el plano de formas y la curva de áreas de las mismas.

#### **4.4. Cuaderno 4: Disposición general**

Se analiza en el cuaderno 4 la distribución de espacios que forman el compartimentado del buque además de definir las cubiertas y mamparos, es decir, se debe hacer una presentación y justificación de la disposición general. En esta parte del proyecto hay que tener muy en cuenta la reglamentación de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y los Convenios SOLAS y Marpol, además de los requisitos de las especificaciones.

Las partes consideradas en la disposición general son:

- Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales.
- Disposición de longitudinales, mamparos, cubiertas y doble fondo.
- Zona de carga o de trabajo.
- Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas.
- Disposición de tanques.
- Habilitación.
- Zonas de amarre y fondeo. Local del servo.

Es importante detallar correctamente los accesos a las distintas zonas del buque, de manera que se pueda operar de forma segura y eficiente. Además, se incluye también un estudio de los elementos estructurales que van a conformar el buque, fijando la clara entre cuadernas, y el número y tipo de refuerzos que van a ser necesarios, lo que se estudiará detalladamente más adelante.

#### **4.5. Cuaderno 5: Cálculos de Arquitectura Naval**

El objetivo de este cuaderno es hacer todos los cálculos de Arquitectura Naval referentes a:

- Curvas hidrostáticas, que reflejan el comportamiento de la carena del buque para distintos calados.
- Curvas de brazos adrizantes, Carenas inclinadas.
- Tabla y plano de capacidades y de centros de gravedad de espacios.
- Cálculos del francobordo y del arqueo. Para su cálculo hay que apoyarse en el “*Convenio Internacional sobre líneas de carga*”, de la OMI.

#### **4.6. Cuaderno 6: Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones**

El cuaderno 6 tiene como finalidad determinar la potencia propulsora, detallando el número de motores y las características de los propulsores, además de hacer un cálculo de maniobrabilidad. El sistema de propulsión del buque proyecto es diésel-eléctrica y esto será importante en la definición del tipo de propulsores.

Para el cálculo de la potencia necesaria las especificaciones exigen que la velocidad de servicio sea 17 nudos al 90% MCR. La resistencia al avance a esa velocidad unida a la posibilidad de tener que desarrollar tracción a punto fijo, serán las exigencias para estimar la potencia de la planta propulsora.

Una vez hecho el cálculo de potencia, se proyectan los propulsores y un timón adecuados para las formas y la velocidad de servicio del buque. La optimización del timón y los propulsores, junto con unas formas lo más hidrodinámicas posibles, disminuyen la potencia necesaria, lo cual reduce el peso, empacho y precio de la planta propulsora, además del consumo de combustible.

La exigencia de las especificaciones de instalar un sistema de propulsión diésel-eléctrica puede hacer que el buque no requiera de timón, en función del tipo de propulsores que se elijan.

#### **4.7. Cuaderno 7: Planta propulsora y cámara de máquinas**

Una vez hecho el cálculo de potencia, se hace la elección del equipo propulsor, de los generadores de energía y del tipo de combustible. Se hace también el cálculo de los equipos y servicios en cámara de máquinas y la disposición general de ésta.

#### **4.8. Cuaderno 8: Equipos y servicios**

El objetivo de este cuaderno es hacer la definición y dimensionamiento de los equipos y servicios exigidos por la reglamentación (Sociedad de Clasificación y normativa internacional) y los específicos del buque para su misión.

Se deben considerar los servicios:

- Servicios de casco.
- Servicios de carga.
- Servicios de navegación y comunicaciones.
- Servicios de habilitación.
- Servicios de alumbrado.

El buque, según las especificaciones, debe disponer de posicionamiento dinámico nivel 2, y la descripción del mismo se hará en este cuaderno.

#### **4.9. Cuaderno 9: Planta eléctrica**

En este cuaderno se hace la definición de la planta eléctrica teniendo en cuenta la estimación de la potencia eléctrica requerida por todos los consumidores en las distintas situaciones de carga y en la situación de emergencia.

Se hace un balance eléctrico mediante el que se logre estimar la demanda eléctrica en cada situación. Entonces, se puede dimensionar el número de grupos generadores, incluidos los de emergencia y puerto si fuera necesario.

Habrá que hacer también un cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto.

#### **4.10. Cuaderno 10: Resistencia estructural**

El buque debe ser capaz de soportar todos los momentos y esfuerzos a los que se ve sometido en el medio en el que se desenvuelve, además de su propio peso y las aceleraciones que resultan de él. En este cuaderno se hace el escantillonado de la estructura y la comprobación de resistencia general, para lo cual se seguirán las reglas de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register.

En buques de eslora pequeña y media, los esfuerzos de flexión viga-buque no son tan importantes como en los buques de eslora grande, ya que, considerándolos como viga, la disposición a la flexión es pequeña. Sin embargo, sí se pueden producir esfuerzos localizados importantes por flexión de refuerzos y planchas. Por lo tanto, en el buque proyecto habrá que adoptar una estructura de tipo transversal.

Una vez hechos los cálculos del escantillonado del buque se elabora el plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales, comprobando que se satisfacen los criterios de la Sociedad de Clasificación.

#### **4.11. Cuaderno 11: Pesos y centro de gravedad del buque en rosca**

El propósito de esta parte es determinar el peso del buque en rosca y la correspondiente posición del centro de gravedad del barco. Este cálculo es aproximado y se puede saber su valor real una vez construido el buque haciendo la experiencia de estabilidad.

El desarrollo de los cálculos del peso y centro de gravedad del buque se divide en las partes:

- Estructura.
- Equipo y habilitación.
- Maquinaria e instalaciones especiales.

#### **4.12. Cuaderno 12: Situaciones de carga y resistencia longitudinal**

Esta parte tiene como finalidad valorar el comportamiento del buque en la mar en diferentes situaciones de carga conforme a los criterios aplicables según los reglamentos.

Mediante el software Hydromax, se lleva a cabo una aproximación con cuyos resultados se pueda confirmar si se cumplen los criterios exigidos por la normativa.

#### **4.13. Cuaderno 13: Presupuesto**

El último paso del proyecto es la estimación del presupuesto del buque para el astillero. Siempre que sea posible, el precio de los equipos se obtendrá con los catálogos y datos reales de los fabricantes. Si esto no fuera posible, habrá que recurrir a aproximaciones.

El formato del presupuesto debería hacerse según lo establecido en la Marina Mercante:

- Casco.
- Equipo, armamento e instalaciones.
- Maquinaria auxiliar de cubierta.
- Instalación propulsora.
- Maquinaria auxiliar de propulsión.
- Instalaciones especiales.
- Gastos varios del astillero.

Será complicado estimar de forma muy precisa el coste del buque, ya que está sujeto a las variaciones del mercado.

#### **4.14. Cuaderno 14: Comportamiento en aguas de la costa de Cantabria**

Las especificaciones del proyecto nos exigen redactar adicionalmente un cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria. Será el Cuaderno 14.

En este cuaderno se hará un estudio del comportamiento del buque en la mar fijándose en los valores de los datos históricos de las alturas de olas en el mar Cantábrico.

El objetivo será la medida de la operatividad del buque proyecto.

#### **4.15. Cuaderno 15: Memoria final**

En este cuaderno se hace una exposición del grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto y esbozo de las modificaciones, en su caso, que hubieran sido necesarias en los cuadernos afectados si se hubiera podido realizar otro ciclo de la espiral de diseño del buque.



#### 4.16. Bases de datos

El punto de partida del trabajo a desarrollar son la descripción del proyecto y la elaboración de una base de datos con buques comparables al de proyecto. Se pretende obtener una lista de barcos de calidad suficiente para poder extrapolar los datos necesarios.

La información sobre buques similares ya construidos se obtiene de las publicaciones de revistas técnicas, como *Significant Small Ships*, y de páginas Web de astilleros constructores de buques de apoyo a plataformas.

Para la elaboración de la base de datos se deben imponer unas condiciones a los buques que se buscan, que están fijadas por los requisitos de las especificaciones del proyecto. Sin embargo, en base a éstas el número de barcos que podrían elegirse sería demasiado amplio y con valores, como la potencia al freno (BHP), muy dispersos entre los distintos buques. Por lo tanto, hay que imponer más condiciones para tener una relación de buques adecuada. Las otras exigencias serán las funciones que realizan estos buques.

Como se exige un cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria se define la zona de operación en el mar Cantábrico. Para elegir las capacidades con las que debe contar el buque proyecto se estudiarán las características de plataformas y de buques de apoyo que operen en esa zona. Esto se explicará más detalladamente en el cuaderno 2, Dimensionamiento.

En la siguiente tabla se puede ver la primera base de datos, que no es la definitiva para el desarrollo del Cuaderno 2 y en la que se pueden ver las características de los buques que servirán de guía para dimensionar el buque proyecto:

	BUQUE	Loa (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (nudos)	Δ (t)	TPM (t)	BHP (CV)	TPF(t)	Lpp/B	B/D	B/T	Lpp/D	T/D	Fr	Año	Tipo
1	Loke Viking	85,2	76,2	22	9	6,6	17	7900	4500	19050	210	3,46	2,44	3,33	8,47	0,73	0,32	2010	AHTS
2	Brage Viking	85,2	76,2	22	9	7,6	17		4500	19050	225	3,46	2,44	2,89	8,47	0,84	0,32	2012	AHTS
3	Njord Viking	85,2	76,2	22	9	7,6	17		4500	19050	235	3,46	2,44	2,89	8,47	0,84	0,32	2011	AHTS
4	Magne Viking	85,2	76,2	22	9	7,6			4500	19050	225	3,46	2,44	2,89	8,47	0,84	0,00	2011	AHTS
5	Far Samson	121,5	105	26	10,5	8,5	13		6100	35900	423	4,04	2,48	3,06	10,00	0,81	0,21	2009	MPSV
6	Far Sapphire	92,7	81,3	22	9,5	6	13	4582,7	21760	261	3,70	2,32	3,67	8,56	0,63	0,24	2007	AHTS	
7	Fairmount Sherpa	75,05	66,6	18	8	6	13	3568	16092	200	3,70	2,25	3,00	8,33	0,75	0,26	2005	AHTS	
8	Olympic Zeus	93,8	82,7	23	10	7,5	18	4932	26512,57648	261	3,60	2,30	3,07	8,27	0,75	0,33	2009	AHTS	
9	Olympic Hercules	82,1	72,7	20	9,5	7,5	19	3737	23826	270	3,64	2,11	2,67	7,65	0,79	0,37	2002	AHTS	
10	Normand Ranger	91	79,35	22	9,6	7,95	18,5		4500	25833	280	3,61	2,29	2,77	8,27	0,83	0,34	2010	AHTS
11	Normand Mariner	82,2	72,7	20	9,5	7,51	19	3694	23478	282	3,64	2,11	2,66	7,65	0,79	0,37	2002	AHTS	
12	Maersk Assister	90,3	79	23	9,5	7,8	11	5010	23480	282	3,43	2,42	2,95	8,32	0,82	0,20	2000	AHTS	
13	Maersk B-Type	84,6	75	18,8	9	7,5	11	4201	20000	230	3,99	2,09	2,51	8,33	0,83	0,21	1997	AHTS	
14	Maersk T-Type	73,2	64,2	20	8,4	7,75	12	3500	15300	173	3,21	2,38	2,58	7,64	0,92	0,25	2008	AHTS	
15	Maersk D-Type	89,3	78	20,6	9	7,5	11,5	4050	18000	218	3,79	2,29	2,75	8,67	0,83	0,21	2005	AHTS	
16	Normand Mariner	82,2	72,7	20	9,5	7,51	19	3694	23478	282	3,64	2,11	2,66	7,65	0,79	0,37	2002	AHTS	
17	Maersk L-Type	90,3	79	23	9,5	7,8	11	4500	23500	265	3,43	2,42	2,95	8,32	0,82	0,20	2009	AHTS	
18	Havila Mars	86	73,5	19,9	8,8	7,3	17,5	3671	16315	210	3,69	2,26	2,73	8,35	0,83	0,34	2007	AHTS	
19	Havila Neptune	74,5	64,8	17,2	8	6,8	17,5	3000	16315	220	3,77	2,15	2,53	8,10	0,85	0,36	2008	AHTS	
20	Viking Troll	73,9	65,4	16	7,6	6,5		2881	15208,70156	158	4,09	2,11	2,46	8,61	0,86		2000	AHTS	
21	Bourbon Orca	86,2	77	18,5	8,5	6	17	3180	19900	183	4,16	2,18	3,08	9,06	0,71	0,32	2006	AHTS	
22	Olympic Octopus	78,3	68,2	17,2	8	6,3	18	2900	16085	180	3,97	2,15	2,73	8,53	0,79	0,36	2006	AHTS	
23	Bourbon Crown	80	69,3	18	8	6,6	17	2851	16818		3,85	2,25	2,73	8,66	0,83	0,34	2001	AHTS	
24	Bourbon Borgstein	87,7	76	18	8	6,6	17,7	3120	20394		4,22	2,25	2,73	9,50	0,83	0,33	2003	AHTS	
25	Odin Viking	73	65	16	6,84	8		2869	15437	180	4,06	2,34	2,00	9,50	1,17	0,00	2003	AHTS	
26	Island Valiant	93,3		22				4200	21700	231	0,00							2007	AHTS
27	Tor Viking II	83,7	75,2	18	8,5	7,2	16	3000	18300	202	4,18	2,12	2,50	8,85	0,85	0,30	2000	AHTS	
28	ARK Tori (AHTS)	67	64	16	7	6	10	4535	2335		140	4,00	2,29	2,67	9,14	0,86	0,21	2008	AHTS
29	Greatship Anjali	63,4	58,4	6		4	13,9		2176		86,4	9,73		1,50			0,30	2008	AHTS

Tabla 1. Buques base

## **5. Problemas principales del proyecto y soluciones adoptadas**

Los problemas principales están relacionados con el cumplimiento de las exigencias de las especificaciones, aunque hay otros problemas adicionales que deben tenerse en consideración como los que pudieran encontrar los armadores y tripulantes de este tipo de buque.

Cuando se hagan los cálculos para el diseño del buque proyecto no existirá una solución única, debiéndose elegir aquella que se considere más óptima según las especificaciones. No obstante, estas soluciones no serían válidas si existiesen otras limitaciones, como las impuestas por el astillero constructor, en particular, referentes a las dimensiones principales del buque, originadas por las dimensiones de las gradas o diques de construcción.

Uno de los problemas principales es hacer un estudio del comportamiento en la mar del buque proyecto. Esto podrá hacerse al final del proyecto, cuando ya se tenga un buque bien diseñado, con todas sus dimensiones, equipos y servicios bien definidos. Para llevar a cabo este estudio, hay que acudir a los valores de los datos históricos de las alturas de olas en el mar Cantábrico. Esta información se puede encontrar en la página web de puertos del Estado: [www.puertos.es](http://www.puertos.es).

Como se ha comentado en anteriores apartados, los buques de apoyo a plataformas pueden hacer trabajos de diversa índole, que serán requeridos en función de las necesidades específicas de las plataformas. Los equipos y servicios que se monten en el buque proyecto habrá que elegirlos cuidadosamente y, además, se deberá extraer de los catálogos de fabricantes la información que sea necesaria para los cálculos de esos equipos y de las capacidades de espacio o potencia que requiera el barco.

En cuanto a la disposición general, habrá que solventar la problemática de lograr una distribución de los espacios a bordo correcta y eficiente.

Con el desarrollo de los cuadernillos se irán obteniendo las conclusiones del diseño del buque. Todo este trabajo supondrá la aplicación, de forma coherente, a los conocimientos que se han ido obteniendo a lo largo de todos los años de estudios en muy distintas materias.

## **6. Bibliografía general**

### **6.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Rotación. [Revista técnica]. Años 2010, 2011 2012 y 2013.
- [3] Small Significant Ships. [Revista técnica]. Años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010.
- [4] Edward V. Lewis. *Principles of Naval Architecture*. Second revision. The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- [5] Viking Supply Ships. [Web en línea]. The Fleet < > <http://www.vikingsupply.com/>.
- [6] Rolls Royce. [Web en línea]. Offshore vessels < > [http://www.rolls-royce.com/marine/ship\\_design\\_systems/ship\\_designs\\_offshore\\_vessels/](http://www.rolls-royce.com/marine/ship_design_systems/ship_designs_offshore_vessels/).
- [7] Damen. [Web en línea]. Markets, offshore < > <http://www.damen.com/en/markets/offshore>.
- [8] Supply Vessels. [Web en línea]. Vessels < > <http://www.supplyvessel.net/>.
- [9] Convenio SOLAS.
- [11] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.
- [10] Luis Pérez Rojas. *Sobre los buques de suministro*. ETSIN.

### **6.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Ulstein Group. [Web en línea]. < > <http://www.ulstein.com/>
- [2] Seaplace. [Web en línea]. < > Proyectos, buques offshore < > <http://www.seaplace.es/>
- [3] Shipsandoil. [Web en línea]. < > <http://www.shipsandoil.com/ShipInformation/0Shipinfo.htm>.
- [4] Femco. [Web en línea]. Platform “Prirazlomnaya”. < > <http://www.femco.ru/>
- [5] Puertos del Estado. [Web en línea]. Oceanografía y meteorología. < > [www.puertos.es](http://www.puertos.es).
- [6] Francisco Fernández González. *Construcción Naval I. Volúmenes I, II y III*. ETSIN.

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 2**

**Dimensionamiento**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Base de datos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Tipo de buque y base de datos preliminar .....	4
2.2. Base de datos definitiva y relaciones entre dimensiones principales .....	6
<b>3. Dimensionamiento .....</b>	<b>8</b>
3.1. Obtención de la eslora, $L_{pp}$ , y el número de Froude, $F_r$ .....	8
3.2. Obtención de la manga, $B$ .....	9
3.3. Obtención del puntal, $D$ .....	10
3.4. Coeficientes adimensionales de la carena .....	11
3.4.1. Coeficiente de bloque, $CB$ .....	11
3.4.2. Coeficiente de la maestra, $CM$ .....	12
3.4.3. Coeficiente prismático, $CP$ .....	13
3.4.4. Coeficiente de la flotación, $C_f$ .....	13
3.5. Determinación de la posición longitudinal del centro de carena, $XB$ .....	14
3.6. Predicción de potencia, $BHP$ .....	15
3.7. Estimación del desplazamiento, $\Delta$ , y peso en rosca, $PR$ .....	16
3.8. Estimación del calado, $T$ .....	18
<b>4. Evaluación técnico - económica de alternativas. Selección de la alternativa óptima .....</b>	<b>19</b>
4.1. Eslora, $L_{pp}$ , y número de Froude, $F_r$ .....	20
4.2. Manga, $B$ .....	20
4.3. Puntal, $D$ .....	20
4.4. Coeficientes adimensionales de la carena .....	20
4.5. Posición longitudinal del centro de carena, $XB$ .....	21
4.6. Potencia, $BHP$ .....	21
4.7. Desplazamiento, $\Delta$ , y peso en rosca, $PR$ .....	22
4.8. Calado, $T$ .....	22
<b>5. Viabilidad técnica de la alternativa seleccionada .....</b>	<b>23</b>
5.1. Verificación de las relaciones adimensionales .....	23
5.2. Desglose de pesos .....	23
5.2.1. Peso muerto .....	23
5.2.1.1 Consumos .....	23
5.2.1.2 Tripulación y pasaje .....	24
5.2.1.3 Pertrechos .....	24
5.2.1.4 Carga útil .....	24
5.2.2. Peso en rosca .....	25
5.3. Comprobación del francobordo .....	26
5.4. Comprobación de la estabilidad .....	27
<b>6. Resumen de los resultados obtenidos .....</b>	<b>28</b>
<b>7. Bibliografía general. ....</b>	<b>29</b>
7.1. Bibliografía básica .....	29
7.2. Bibliografía complementaria .....	29

## **Tablas**

Tabla 1. Base de datos preliminar .....	5
Tabla 2. Base de datos final.....	6
Tabla 3. Valores normales de las relaciones adimensionales y del n° de Froude.....	6
Tabla 4. Relaciones adimensionales de los buques de la base de datos .....	7
Tabla 5. Valores medios de las relaciones adimensionales .....	7
Tabla 6. Coeficientes adimensionales de la carena .....	14 y 20
Tabla 7. Estimaciones del calado .....	17
Tabla 8. Resumen de las estimaciones .....	18
Tabla 9. Relaciones adimensionales del buque proyecto .....	22
Tabla 10. Variación de las relaciones adimensionales en la base de datos .....	22
Tabla 11. Valores normales de las relaciones adimensionales .....	22
Tabla 12. Resumen del dimensionamiento del buques.....	28
Tabla 13. Resumen del dimensionamiento de los tanques .....	28

## **Gráficos**

Gráfico 1. $L_{pp} = f(\sqrt[3]{TPM})$ .....	8
Gráfico 2. $B = g(TPM)$ .....	9
Gráfico 3. $D = h(B)$ .....	10
Gráfico 4. $BHP = q(L_{pp})$ .....	15



## **1. Introducción**

El objetivo de este cuaderno es determinar las dimensiones principales del buque proyecto y sus coeficientes de forma, además de hacer una estimación de pesos y de potencia instalada. Los resultados que se obtengan serán analizados técnica y económicamente para seleccionar la alternativa óptima y ésta servirá como punto de partida para completar el resto de cuadernos.

Como en el proyecto de un buque se sigue una espiral de diseño, las conclusiones que se exponen en este cuaderno son la consecuencia de muchos cambios y, por tanto, el retorno sucesivo al principio para hacer los cálculos de nuevo. Pueden seleccionarse unas alternativas óptimas para la configuración del buque pero encontrar, por ejemplo en el cuaderno 4 de Disposición General, que una dimensión no es adecuada, con lo que hay que cambiarla y volver a los cálculos de este cuaderno. Por consiguiente en este capítulo de Dimensionamiento se exponen sólo los resultados finales de la alternativa seleccionada para el buque proyecto.

Lo primero que hay que hacer es elaborar una base de datos con buques de apoyo a plataformas de características similares al del buque proyecto. La información se debe sacar de revistas técnicas y páginas Web especializadas donde aparezcan las dimensiones principales e información sobre buques ya existentes. Para confeccionar esta base de datos hay que fijarse en las especificaciones del proyecto, que son las siguientes:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Una vez reducida la base de datos a una lista de unos 10 buques, que sean los más similares al de las especificaciones, se lleva a cabo la estimación de las dimensiones principales mediante correlaciones y fórmulas que den como resultado los valores de varias alternativas para la configuración del buque proyecto.

A continuación se hace una evaluación técnica y económica de los resultados obtenidos para seleccionar la alternativa óptima y, finalmente, se estudia la viabilidad técnica de ésta alternativa.

## **2. Base de datos**

### **2.1. Tipo de buque y base de datos preliminar**

En la descripción del proyecto se pide un cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria, con lo que se define la zona de operación del buque proyecto en el mar Cantábrico. Para hacer la elección de las capacidades con las que hay que dotar al barco se hace un análisis de las plataformas oceánicas que hay en esa zona. La conclusión que se saca es que según las predicciones, los mares europeos estarán sujetos a un desarrollo masivo de infraestructuras marinas en un futuro próximo. Esto se deberá a las instalaciones de producción de energía offshore, como parques eólicos marinos o explotación de la energía de las olas y las corrientes marinas.

En principio, este barco se diseñará para dar apoyo a plataformas petrolíferas y, aunque en la zona de operación para este cometido se podría considerar la construcción de un PSV (Platform Supply Vessel), se decide dotar al buque proyecto de capacidad de remolque y manejo de anclas, es decir, de tiro a punto fijo. Por lo cual, los buques en los que hay que fijarse para hacer la base de datos son buques AHTS (Anchor Handling Tug Supply). Se ha llegado a esta conclusión por dos motivos principalmente. El primero, viendo el auge que puede alcanzar la producción de energía offshore, este tipo de buques entran dentro de los requerimientos funcionales de estas instalaciones. El segundo, desde el punto de vista de un astillero constructor español en la zona del mar Cantábrico, un astillero importante que se dedica a construir buques de apoyo a plataformas es el astillero bilbaíno Astilleros Zamakona. En estos últimos años se ha llevado a cabo en este astillero la construcción de una serie de barcos AHTS para la compañía sueca Transviking de características muy similares a las que aparecen en la especificación de este proyecto. Estos cuatro buques que el astillero ha construido para este armador tienen unas dimensiones principales de 85,2 metros de eslora máxima, peso muerto de 4500 toneladas, acomodación para 45 personas y velocidad de 17 nudos.

Como punto de partida para el dimensionamiento del buque proyecto se confecciona entonces una base de datos preliminar, la cual forman buques ya construidos que cumplen los siguientes requisitos:

- Sólo se buscan buques de apoyo a plataformas con capacidad de remolque y manejo de anclas, es decir, AHTS (Anchor Handling Tug Supply).
- Para que la lista de barcos sea de una calidad suficiente, de las especificaciones se tienen especialmente en cuenta la eslora máxima (85 metros) y las toneladas de peso muerto (4500 toneladas), de forma que los buques se elegirán de manera que no difieran mucho de esas dos dimensiones.
- Se estudiarán construcciones que sean relativamente recientes.

En la siguiente tabla puede verse la lista que compone la base de datos preliminar.

	BUQUE	Loa (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (nudos)	$\Delta$ (t)	TPM (t)	BHP (CV)	TPF(t)	Año	Tipo
1	Loke Viking	85,2	76,2	22	9	6,6	17	7900	4500	19050	210	2010	AHTS
2	Brage Viking	85,2	76,2	22	9	7,6	17		4500	19050	225	2012	AHTS
3	Njord Viking	85,2	76,2	22	9	7,6	17		4500	19050	235	2011	AHTS
4	Magne Viking	85,2	76,2	22	9	7,6			4500	19050	225	2011	AHTS
5	Far Samson	121,5	105	26	10,5	8,5	13		6100	35900	423	2009	MPSV
6	Far Sapphire	92,7	81,3	22	9,5	6	13		4582,7	21760	261	2007	AHTS
7	Fairmount Sherpa	75,05	66,6	18	8	6	13		3568	16092	200	2005	AHTS
8	Olympic Zeus	93,8	82,7	23	10	7,5	18		4932	26513	261	2009	AHTS
9	Olympic Hercules	82,1	72,7	20	9,5	7,5	19		3737	23826	270	2002	AHTS
10	Normand Ranger	91	79,35	22	9,6	7,95	18,5		4500	25833	280	2010	AHTS
11	Normand Mariner	82,2	72,7	20	9,5	7,51	19		3694	23478	282	2002	AHTS
12	Maersk Assister	90,3	79	23	9,5	7,8	11		5010	23480	282	2000	AHTS
13	Maersk B-Type	84,6	75	18,8	9	7,5	11		4201	20000	230	1997	AHTS
14	Maersk T-Type	73,2	64,2	20	8,4	7,75	12		3500	15300	173	2008	AHTS
15	Maersk D-Type	89,3	78	20,6	9	7,5	11,5		4050	18000	218	2005	AHTS
16	Normand Mariner	82,2	72,7	20	9,5	7,51	19		3694	23478	282	2002	AHTS
17	Maersk L-Type	90,3	79	23	9,5	7,8	11		4500	23500	265	2009	AHTS
18	Havila Mars	86	73,5	19,9	8,8	7,3	17,5		3671	16315	210	2007	AHTS
19	Havila Neptune	74,5	64,8	17,2	8	6,8	17,5		3000	16315	220	2008	AHTS
20	Viking Troll	73,9	65,4	16	7,6	6,5			2881	15209	158	2000	AHTS
21	Bourbon Orca	86,2	77	18,5	8,5	6	17		3180	19900	183	2006	AHTS
22	Olympic Octopus	78,3	68,2	17,2	8	6,3	18		2900	16085	180	2006	AHTS
23	Bourbon Crown	80	69,3	18	8	6,6	17		2851	16818		2001	AHTS
24	Bourbon Borgstein	87,7	76	18	8	6,6	17,7		3120	20394		2003	AHTS
25	Odin Viking	73	65	16	6,84	8			2869	15437	180	2003	AHTS
26	Island Valiant	93,3		22					4200	21700	231	2007	AHTS
27	Tor Viking II	83,7	75,2	18	8,5	7,2	16		3000	18300	202	2000	AHTS
28	ARK Tori (AHTS)	67	64	16	7	6	10	4535	2335		140	2008	AHTS
29	Greatship Anjali	63,4	58,4	6		4	13,9		2176		86,4	2008	AHTS

Tabla 1. Base de datos preliminar

Los datos que aparecen en la tabla por orden son:

- Nombre del buque.
- Eslora máxima ( $L_{oa}$ ).
- Eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ).
- Manga (B).
- Puntal (D).
- Calado (T).
- Velocidad de servicio.
- Desplazamiento ( $\Delta$ ).
- Toneladas de peso muerto (TPM).
- Potencia de la maquinaria principal o potencia al freno (BHP).
- Tiro a punto fijo (TPF).
- Año de construcción.
- Tipo de buque.

La información para elaborar la base de datos se ha obtenido de las publicaciones de las revistas *Significant Small Ships* entre los años 2005 a 2010, *Rotación* entre los años 2010 a 2013 y de páginas Web de astilleros constructores y navieras de buques de apoyo a plataformas, como Viking Supply Ships, Damen, Rolls Royce y Ulstein Group.

## 2.2. Base de datos definitiva y relaciones entre dimensiones principales

La base de datos final que servirá para hacer los cálculos del cuaderno se hace imponiendo las condiciones de:

- Relación peso muerto/eslora máxima,  $\frac{TPM}{L_{oa}}$ , de los buques elegidos no difiera más de un 15% de esa relación según las especificaciones del proyecto.
- Eslora máxima cercana a 85m.
- Peso muerto del orden de 4500TPM.

Con lo cual se obtiene la siguiente lista de buques:

	BUQUE	Loa (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (nudos)	$\Delta$ (t)	TPM (t)	BHP (CV)	TPF (t)
1	Loke Viking	85,2	76,2	22	9	6,6	17	7900	4500	19050	210
2	Far Samson	121,5	105	26	10,5	8,5	13		6100	35900	423
3	Far Sapphire	92,7	81,3	22	9,5	6	13		4582,7	21760	261
4	Fairmount Sherpa	75,05	66,6	18	8	6	13		3568	16092	200
5	Olympic Zeus	93,8	82,7	23	10	7,5	18		4932	26513	261
6	Olympic Hercules	82,1	72,7	20	9,5	7,5	19		3737	23826	270
7	Normand Ranger	91	79,35	22	9,6	7,95	18,5		4500	25833	280
8	Maersk Assister	90,3	79	23	9,5	7,8	11		5010	23480	282
9	Maersk B-Type	84,6	75	18,8	9	7,5	11		4201	20000	230
10	Maersk T-Type	73,2	64,2	20	8,4	7,75	12		3500	15300	173

Tabla 2. Base de datos final

Se han eliminado del cuadro anterior los barcos:

- Brage Viking, Njord Viking y Magne Viking porque son buques gemelos al Loke Viking.
- Normand Mariner, Maersk D-Type, Maersk L-Type, Havila Mars, Havila Neptune, Viking Troll, Bourbon Orca, Olympic Octopus, Bourbon Crown, Bourbon Borgstein, Odin Viking, Island Valiant y Tor Viking II porque sus características se alejan de los requisitos de las especificaciones.
- ARK Tori y Greatship Anjali por tener datos insuficientes de ellos.

Los valores normales de las relaciones adimensionales y del número de Froude que se indican en la referencia [1], *El proyecto básico del buque mercante*, en el capítulo 2.11, Buques de Servicio, para este tipo de barcos son:

L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	Fr
2,5 – 4,7	1,9 – 2,5	2,1 – 2,8	5,0 – 9,5	0,78 – 0,91	0,34 – 0,44

Tabla 3. Valores normales de las relaciones adimensionales y del n° de Froude

A continuación, se calculan los valores de las relaciones entre las dimensiones principales de los buques de la base de datos final:

	BUQUE	Loa (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (nudos)	Lpp/B	B/D	B/T	Lpp/D	T/D	Fr
1	Loke Viking	85,2	76,2	22	9	6,6	17	3,46	2,44	3,33	8,47	0,73	0,32
2	Far Samson	121,5	105	26	10,5	8,5	13	4,04	2,48	3,06	10,00	0,81	0,21
3	Far Sapphire	92,7	81,3	22	9,5	6	13	3,70	2,32	3,67	8,56	0,63	0,24
4	Fairmount Sherpa	75,05	66,6	18	8	6	13	3,70	2,25	3,00	8,33	0,75	0,26
5	Olympic Zeus	93,8	82,7	23	10	7,5	18	3,60	2,30	3,07	8,27	0,75	0,33
6	Olympic Hercules	82,1	72,7	20	9,5	7,5	19	3,64	2,11	2,67	7,65	0,79	0,37
7	Normand Ranger	91	79,35	22	9,6	7,95	18,5	3,61	2,29	2,77	8,27	0,83	0,34
8	Maersk Assister	90,3	79	23	9,5	7,8	11	3,43	2,42	2,95	8,32	0,82	0,20
9	Maersk B-Type	84,6	75	18,8	9	7,5	11	3,99	2,09	2,51	8,33	0,83	0,21
10	Maersk T-Type	73,2	64,2	20	8,4	7,75	12	3,21	2,38	2,58	7,64	0,92	0,25

Tabla 4. Relaciones adimensionales de los buques de la base de datos

Si se comparan los valores medios obtenidos de estas relaciones con los que aparecen en la referencia [1], *El proyecto básico del buque mercante*, se puede ver que todos se ajustan a los intervalos dados, a excepción de la manga entre el calado,  $\frac{B}{T}$ , que es un poco mayor.

Lpp/B	B/D	B/T	Lpp/D	T/D
3,64	2,31	2,96	8,38	0,79

Tabla 5. Valores medios de las relaciones adimensionales

Llegados a este punto, se puede comenzar a hacer el dimensionamiento del buque proyecto, lo que permitirá hacer una definición de su configuración, de las dimensiones y de los coeficientes de forma.

Se llegará a varias estimaciones del dimensionamiento haciendo regresiones sobre la base de datos. Para comprobar la bondad de la regresión realizada se obtiene el coeficiente de correlación, cuyo valor cercano a uno indica que la metodología aplicada es correcta.

Una vez hechas todas las estimaciones, los resultados obtenidos proporcionan distintas alternativas que deberán ser analizadas para poder llegar a una conclusión final.

Se hará además una estimación del tiro a punto fijo (bollard pull) con el que va a equiparse el buque proyecto, puesto que, en las especificaciones no se determina el valor que requiere el barco.

### 3. Dimensionamiento

#### 3.1. Obtención de la eslora y el número de Froude

En la referencia [2], se explica que según Meredith, un estudio del Libro Registro del Lloyd's pone de manifiesto que la raíz cúbica del peso muerto está directamente relacionada con la eslora entre perpendiculares.

Por lo tanto la regresión que se realiza para hacer una estimación de la eslora entre perpendiculares del buque proyecto será:

$$L_{pp} = f(\sqrt[3]{TPM})$$

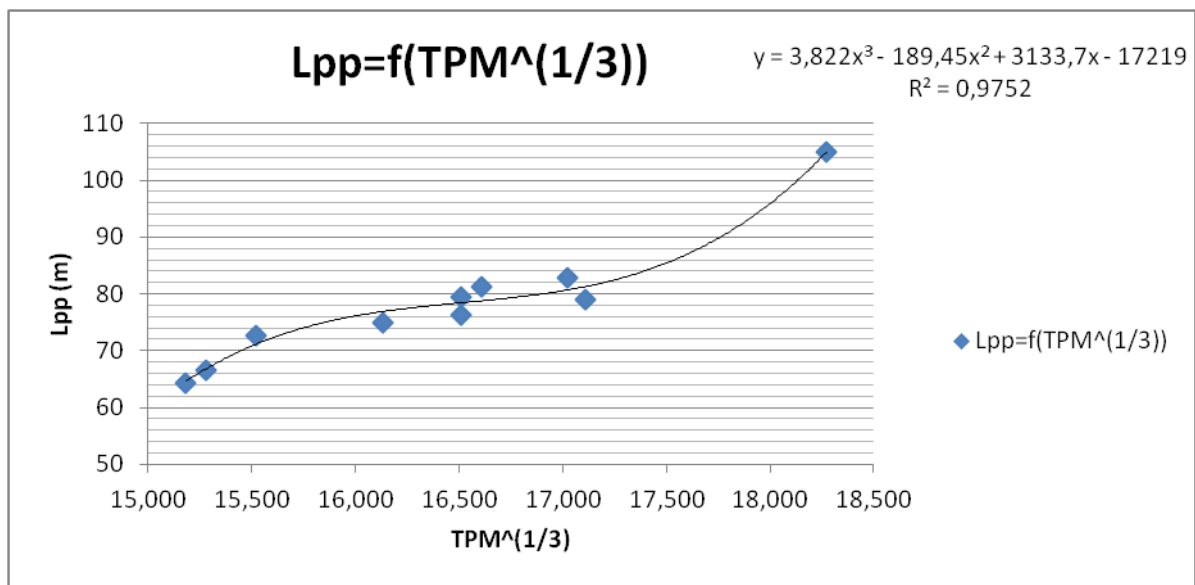


Gráfico 1.  $L_{pp} = f(\sqrt[3]{TPM})$

Con esta regresión se obtiene un valor alto del coeficiente de correlación, cercano a 1, por lo que se deduce que la regresión realizada es buena.

Con el dato del peso muerto del buque proyecto de las especificaciones, 4500TPM, se puede determinar entonces la eslora entre perpendiculares:

$$\begin{aligned} L_{pp} &= 3,822 \cdot (\sqrt[3]{TPM})^3 - 189,45 \cdot (\sqrt[3]{TPM})^2 + 3133,7 \cdot (\sqrt[3]{TPM}) - 17219 \\ &= \mathbf{78,22 \text{ m}} \end{aligned}$$

A partir de este valor se puede obtener el número de Froude, ya que la velocidad del buque está indicada en las especificaciones:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}} = \frac{17 \cdot 0,5144 \text{ m/s}}{\sqrt{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 78,22 \text{ m}}} = \mathbf{0,316}$$



### 3.2. Obtención de la manga, B.

Se puede conseguir una primera estimación de la manga con el valor medio de la relación eslora-manga  $\left(\frac{L_{pp}}{B}\right)$  obtenida con los buques de la base de datos.

$$\frac{L_{pp}}{B} = 3,64$$

Por lo tanto, si se emplea la eslora entre perpendiculares obtenida en la correlación anterior:

$$B = \frac{L_{pp}}{3,64} = \frac{78,22 \text{ m}}{3,64} = 21,51 \text{ m}$$

En la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, se expone que la manga debe ser función de la eslora entre perpendiculares. No obstante, se realiza a continuación una correlación entre la manga y el peso muerto,  $B = g(TPM)$ . Se elige ésta porque la correlación entre la manga y la eslora entre perpendiculares está más alejada de 1 y antes se calculó esta eslora en función del peso muerto.

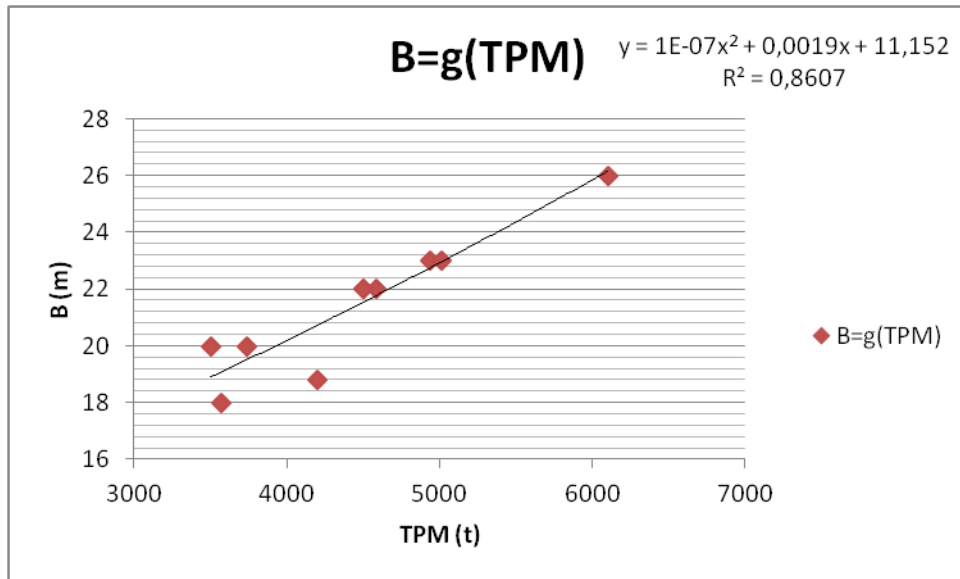


Gráfico 2.  $B = g(TPM)$

En la ecuación del gráfico se introduce el valor del peso muerto de las especificaciones, 4500TPM, y se calcula la manga:

$$B = 10^{-7} \cdot TPM^2 + 0,0019 \cdot TPM + 11,152 = 21,73 \text{ m}$$

El valor obtenido es parecido al de la primera estimación, de la que difiere menos de un 1%.

Hay, entonces, dos estimaciones para la manga:

$$B_1 = 21,51 \text{ m} \text{ y } B_2 = 21,73 \text{ m} .$$

### 3.3. Obtención del puntal, D.

Al igual que antes, se hace una primera estimación del puntal con el valor medio de las relaciones eslora-puntal,  $\left(\frac{L_{pp}}{D}\right)$ , obtenido de la base de datos.

$$\left(\frac{L_{pp}}{D}\right) = 8,38$$

Por lo que empleando el valor obtenido de la eslora entre perpendiculares:

$$D = \frac{L_{pp}}{8,38} = \frac{78,22 \text{ m}}{8,38} = 9,33 \text{ m}$$

También se puede estimar con el valor medio de las relaciones manga-puntal,  $\left(\frac{B}{D}\right)$ , de la base de datos.

$$\left(\frac{B}{D}\right) = 2,31$$

Entonces, con los dos valores calculados de la manga, se obtienen sendas estimaciones del puntal:

$$D = \frac{B}{2,31} = \begin{cases} \frac{21,51 \text{ m}}{2,31} = 9,32 \text{ m} \\ \frac{21,73 \text{ m}}{2,31} = 9,42 \text{ m} \end{cases}$$

Se hace también una correlación entre el puntal y la manga,  $D = h(B)$ , como se indica en la referencia [1] *Proyecto básico del buque mercante*, ya que el aumento del puntal va unido a aumentos de la manga para evitar que el agua llegue al trancanil cuando el buque escora con ángulos demasiado pequeños.

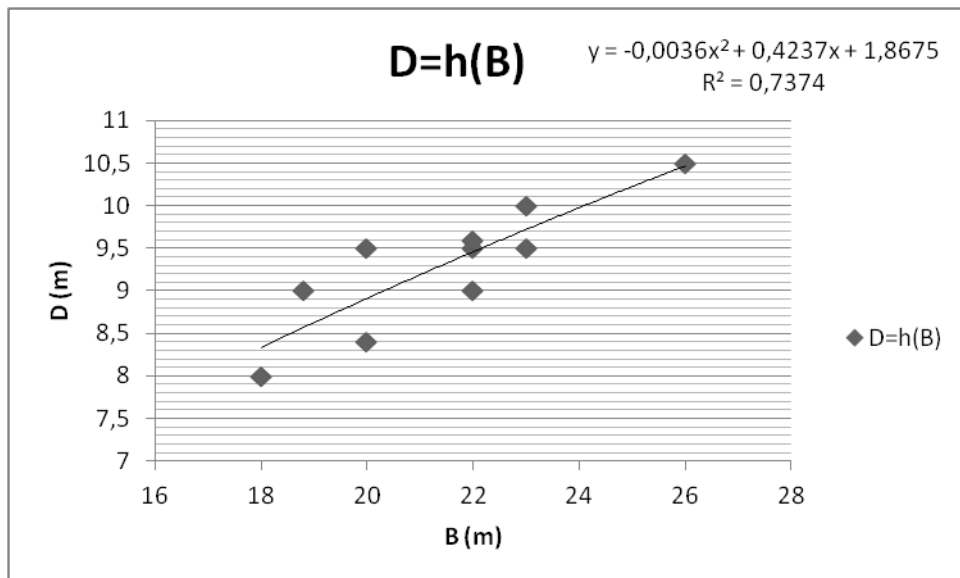


Gráfico 3.  $D = h(B)$

Con los valores de la manga calculados antes,  $B_1 = 21,51 \text{ m}$  y  $B_2 = 21,73 \text{ m}$ , se obtiene, dos estimaciones del puntal:

$$D = -0,0036 \cdot B^2 + 0,4237 \cdot B + 1,8675 = \begin{cases} 9,32 \text{ m} \\ 9,37 \text{ m} \end{cases}$$

Las cinco estimaciones del puntal obtenidas son:

$$D_1 = 9,33 \text{ m} ; D_2 = 9,32 \text{ m} ; D_3 = 9,42 \text{ m} ; D_4 = 9,32 \text{ m} ; D_5 = 9,37 \text{ m}$$

### 3.4. Coeficientes adimensionales de la carena

Un buque de suministro a plataformas es, normalmente, una embarcación de formas llenas y en la que es económicamente aconsejable sacrificar velocidad para ganar capacidad de carga.

#### 3.4.1. Coeficiente de bloque, CB

El coeficiente de bloque, CB, es el fundamental para representar las formas del buque. Tiene una incidencia muy grande sobre la resistencia a la marcha y sobre la capacidad de carga, y, en menor medida, sobre la estabilidad, maniobrabilidad, etc.

Lo normal es elegir un CB adecuado a la velocidad del buque relativa a su eslora, expresada como  $\frac{V}{\sqrt{L_{pp}}}$  o como número de Froude, y comprobar a continuación otras características del proyecto, como estabilidad, capacidad de carga, etc.

Para estimar el valor del coeficiente de bloque, se han publicado expresiones que, en función de la velocidad y la eslora o de otra dimensión principal del buque, determinan un valor adecuado de CB.

En la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, se encuentran estas dos:

-Fórmula de Alexander:

$$CB = K - 0,5 \cdot \frac{V}{\sqrt{3,28 \cdot L_{pp}}}$$

El valor de K es 1,08.

Introduciendo en la expresión los valores del buque proyecto se obtiene:

$$CB = 0,549$$

-Formula de Townsin:

$$CB = 0,7 + 0,125 \tan^{-1}(25 \cdot (0,23 \cdot F_r))$$

Por lo que:  $CB = 0,558$ .

En la referencia [2] se indican estas otras:

-Expresión dada por Azpiroz:

$$CB = 1,03 - 0,193 \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}}$$

El coeficiente de bloque obtenido con esta expresión es:  $CB = 0,659$ .

-Fórmula de Meredith:

$$CB = 1,135 - 0,276 \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}}$$

Por tanto:  $CB = 0,604$ .

Se obtienen entonces cuatro valores del coeficiente de bloque, que serán analizados posteriormente:

$$CB_1 = 0,549 ; CB_2 = 0,558 ; CB_3 = 0,659 ; CB_4 = 0,604$$

### 3.4.2. Coeficiente de la maestra, CM

El coeficiente de la maestra, CM, influye en la resistencia al avance del barco y, además, tiene repercusión directa sobre la extensión de la zona curva del casco en el pantoque. La influencia principal de este coeficiente en la resistencia es en la curva de áreas, ya que pueden formarse unos hombros o “shoulders” demasiado agudos que provocarán separación de flujo en el hombro de popa y un sistema de olas secundario en el hombro de proa, suponiendo ambas cosas un drástico aumento de la resistencia.

Es el área sumergida de la maestra dividida entre la manga por el puntal.

$$CM = \frac{A_M}{BT}$$

En este tipo de buques este valor viene determinado principalmente por la necesidad de acomodar los motores principales, por lo que los valores normales pueden estar entorno 0,9.

De la referencia [1], se obtiene la siguiente fórmula que relaciona el coeficiente de la maestra, CM, con el coeficiente de bloque, CB, en base a consideraciones hidrodinámicas:

$$CM = \frac{1}{1 + (1 - CB)^{3,5}}$$

Aplicando entonces los cuatro coeficientes de bloque antes calculados, se obtienen los siguientes resultados:

$$CM_1 = 0,942 ; CM_2 = 0,946 ; CM_3 = 0,977 ; CM_4 = 0,963$$

### 3.4.3. Coeficiente prismático, CP

El coeficiente prismático, CP, puede determinarse en función del coeficiente de bloque, CB, y del coeficiente de la maestra, CM, de esta manera:

$$CP = \frac{CB}{CM}$$

Por lo que los valores que se obtienen para este coeficiente son:

$$CP_1 = 0,583 ; CP_2 = 0,590 ; CP_3 = 0,674 ; CP_4 = 0,628$$

### 3.4.4. Coeficiente de la flotación, Cr

Se puede expresar como el área en la línea de la flotación dividida entre la multiplicación de la eslora por la manga.

$$C_f = \frac{A_{FLOT}}{LB}$$

Las formas finas (bajo CB) requieren coeficiente de la flotación bajo, mientras que las formas llenas irán acompañadas de un coeficiente de la flotación más elevado.

Una vez definidos los coeficientes de bloque y de la maestra, CB y CM, el coeficiente de la flotación, Cr, está ya en gran medida condicionado, pero puede variarse algo por medio del grado U/V de las secciones transversales de la carena.

Para estimar su valor, en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, se puede ver la siguiente expresión:

$$C_f = 0,45 \cdot CB + 0,56$$

Con lo que se obtienen los siguientes valores:

$$C_{f1} = 0,807 ; C_{f2} = 0,811 ; C_{f3} = 0,857 ; C_{f4} = 0,832$$

Como resultado de este apartado se obtiene la siguiente tabla de resultados con la estimación de todos los coeficientes adimensionales de la carena.

	<b>CB</b>	<b>CM</b>	<b>CP</b>	<b>C<sub>f</sub></b>
1	0,549 (Alexander)	0,942	0,583	0,807
2	0,558 (Townsin)	0,946	0,590	0,811
3	0,659 (Azpiroz)	0,977	0,674	0,857
4	0,604 (Meredith)	0,963	0,628	0,832

Tabla 6. Coeficientes adimensionales de la carena

### 3.5. Determinación de la posición longitudinal del centro de carena, XB

La posición longitudinal del centro de gravedad del área (XB) nos proporciona la posición del centro de gravedad del volumen de carena. Debe determinarse en base a consideraciones hidrodinámicas y de trimados en las distintas condiciones de carga. Teóricamente existe un valor óptimo de XB para el afinamiento y velocidad de cada buque, que se debería tratar de adoptar, intentando que la posición longitudinal del centro de gravedad del buque coincida con este XB. Sin embargo, puede ser difícil que esta coincidencia se produzca en todas las condiciones de carga, por lo que frecuentemente se elige un XB de compromiso entre ambos condicionantes.

Por otra parte, existe un margen bastante amplio en el valor del XB, dentro del cual su repercusión sobre la resistencia al avance es pequeña, lo que facilita una elección del XB adecuada a los dos aspectos, trimado y propulsión.

En la referencia [1] *Proyecto básico del buque mercante* se indica una fórmula publicada por L. Troost sobre la posición adecuada de XB para que la resistencia al avance sea mínima:

$$XB = 17,5 \cdot CP - 12,5$$

En esta fórmula XB es la abscisa del centro de carena en porcentaje de la eslora entre perpendiculares, respecto a la sección media, con valores positivos a proa de la misma.

Como se han estimado cuatro valores del coeficiente prismático, CP, se estiman a partir de éstos otros cuatro valores para XB:

$$XB_1 = -1,80m ; XB_2 = -1,70m ; XB_3 = -0,55m ; XB_4 = -1,18m$$

En los cuatro casos la posición longitudinal del centro de carena está a popa de la maestra. En el próximo apartado 4 se explicará qué valor es el más adecuado de la estimación de los datos del buque proyecto.

### 3.6. Predicción de potencia, BHP

Una primera aproximación de la potencia propulsora a la velocidad de proyecto del buque puede hacerse con las fórmulas que se citan en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, los métodos de J. Mau y D. G. M. Watson. Como la fórmula de Watson se dedujo para buques cargueros, sólo se consideraría la de J. Mau. Otros métodos de predecir la potencia propulsora del buque serían la aplicación del coeficiente del Almirantazgo o a través del tiro a punto fijo del buque. No obstante, con esos métodos no se obtienen valores razonables de la estimación de la potencia, por lo que se opta por realizar una correlación entre la potencia al freno, BHP, de los buques de la base de datos y su eslora entre perpendiculares,  $L_{pp}$ :  $BHP = q(L_{pp})$ .

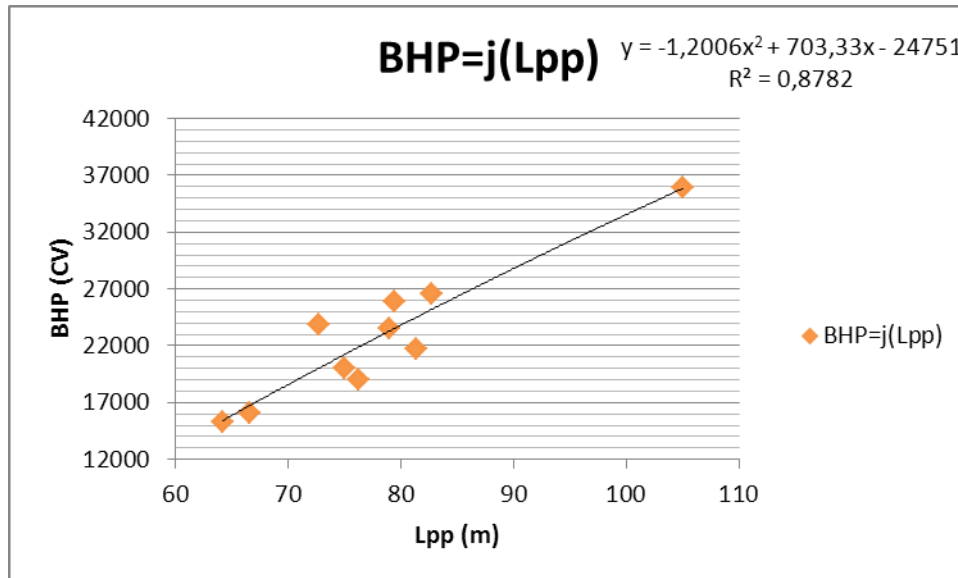


Gráfico 4.  $BHP = q(L_{pp})$

Con la que, introduciendo el valor de la eslora entre perpendiculares estimada del buque proyecto, se obtiene que  $BHP = 22919 \text{ CV}$  (16860 kW).

En la referencia [2] se indica que la relación aproximada entre la potencia propulsora y el tiro a punto fijo es

$$TPF \cong \frac{BHP}{80}$$

Por lo que con la potencia estimada el tiro a punto fijo aproximado del buque proyecto sería 286 t.

Sin embargo, no se desea dotar al buque proyecto de tanta tracción a punto fijo, lo que conlleva a la necesaria instalación de más potencia en cámara de máquinas. Se opta por capacitar al buque de **150 toneladas** de tiro a punto fijo, con lo que la potencia que se estima es **12000 CV**, aproximadamente **8830 kW**.

### 3.7. Estimación del desplazamiento, $\Delta$ , y peso en rosca, PR

Para poder estimar el calado, T, se debe hacer antes una estimación del desplazamiento. El desplazamiento del buque se descompone en dos partidas principales, peso en rosca y peso muerto.

$$\Delta = PR + TPM$$

El peso en rosca está integrado por la suma de todos los pesos del buque listo para navegar, excluyendo: carga, pasaje, tripulación, pertrechos y consumos, pero incluyendo fluidos en aparatos y tuberías. El resto es el peso muerto, es decir, el peso que un buque puede transportar.

El peso y la posición del centro de gravedad de la rosca de un buque no se conocen exactamente hasta su puesta a flote, y es la realización de la experiencia de estabilidad la que proporciona estos valores; aunque a medida que se progresa en la definición del proyecto se pueden calcular con mayor precisión.

El *Loke Viking*, incluido en la base de datos, es un buque similar al buque proyecto. Se conoce el valor de su desplazamiento (7900 t) y peso muerto (4500 t) y, por tanto, de su peso en rosca (3400 t), obtenido mediante la diferencia entre los dos anteriores. Si se supone un peso en rosca para el buque proyecto similar al de este buque, se puede hacer entonces una primera estimación aproximada del desplazamiento:

$$\Delta_1 = PR + TPM = 3400t + 4500t = \mathbf{7900t}$$

De cualquier forma, se pueden extraer de la referencia [2] unas expresiones expuestas por Azpíroz y Meredith, que permiten obtener los valores del peso en rosca en función del número cúbico, es decir, el producto de la eslora, la manga y el puntal. Como no se ha elegido aún la alternativa óptima, los valores de las dimensiones que se emplean para el número cúbico (eslora, manga y puntal) son una media de las estimadas anteriormente. La estimación así realizada del desplazamiento y peso en rosca será aproximada, pero no variará en un valor significativo de la que se tenga con las dimensiones finales.

-Meredith.

- Acero.....0,095 t/m<sup>3</sup>
- Maquinaria.....62 kg/bhp
- Equipo.....0,041 t/m<sup>3</sup>

$$PR = 0,095 \cdot L \cdot B \cdot D + 0,062 \cdot BHP + 0,041 \cdot L \cdot B \cdot D = 3572t$$

$$\Delta_2 = PR + TPM = 3572t + 4500t = \mathbf{8072t}$$

-Azpiroz.

- Acero.....0,14 t/m<sup>3</sup>
- Maquinaria.....30 kg/bhp



$$\blacksquare \text{ Equipo} \dots\dots\dots 0,045 \text{ t/m}^3$$

$$PR = 0,14 \cdot L \cdot B \cdot D + 0,030 \cdot BHP + 0,045 \cdot L \cdot B \cdot D = 3613t$$

$$\Delta_3 = PR + TPM = 3613t + 4500t = \mathbf{8113t}$$

Estas estimaciones no difieren más que un 2%.

### 3.8. Estimación del calado, T.

En la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, se expone que el calado es la única dimensión que suele o puede estar restringida, debido a la variedad de zonas en las que opera el remolcador tales como: estuarios, ríos, puertos, etc.

Cuando no existen restricciones es una variable dependiente, que se calcula como función de TPM,  $L_{pp}$ , B y CB. Debe comprobarse a partir del puntal, D, que satisface el francobordo, FB.

$$CB = \frac{\Delta}{LBT \cdot 1,025}$$

Como ocurre en el apartado anterior, al no haber elegido la alternativa óptima, el valor de la manga que se emplea es una media de los dos estimados anteriormente y el desplazamiento será también la media de los obtenidos antes. El dato de la eslora es la estimación hecha para la eslora entre perpendiculares.

$$T = \frac{\Delta}{LB \cdot CB \cdot 1,025}$$

Para los distintos coeficientes de bloque que se calcularon según las expresiones de los autores correspondientes, se obtiene, con esa expresión, la tabla de estimaciones del calado siguiente:

	CB	T (m)
1	0,549 (Alexander)	8,43
2	0,558 (Townsin)	8,30
3	0,659 (Azpiroz)	7,03
4	0,604 (Meredith)	7,66

Tabla 7. Estimaciones del calado

La relación entre el calado de diseño y la eslora de los buques de la base de datos varía mucho de unos a otros. Esto se debe a los equipos instalados en cada uno de ellos y a que sus características se diseñaron para un determinado propósito. Por tanto, no se puede estimar mediante correlaciones el valor del calado.

Se deberán tener en cuenta los problemas que pudieran presentar en las siguientes etapas del proyecto los calados límite:

-El límite superior del calado viene impuesto por el francobordo.

-El límite inferior del calado viene impuesto por razones estructurales o de comportamiento en la mar.

#### **4. Evaluación técnico-económica de alternativas. Selección de la alternativa óptima**

Una vez estimadas la configuración, las dimensiones y los coeficientes de forma llega el momento de evaluar las distintas combinaciones posibles para poder seleccionar aquella que se considere la alternativa óptima.

El buque proyecto debe tener un peso muerto de 4500 toneladas, 85 metros de eslora máxima y ha de ser capaz de alcanzar la velocidad de 17 nudos al 90% MCR.

Se analiza cada dimensión de las calculadas anteriormente y se explican los criterios para hacer su elección.

Las estimaciones hechas se agrupan en esta tabla:

<b>L<sub>pp</sub> (m)</b>	78,2				
<b>Fr</b>	0,316				
<b>B (m)</b>	21,51	21,73			
<b>D (m)</b>	9,33	9,32	9,42	9,32	9,37
<b>CB</b>	0,549 (Alexander)	0,558 (Townsin)	0,659 (Azpiroz)	0,604 (Meredith)	
<b>CM</b>	0,942	0,946	0,977	0,963	
<b>CP</b>	0,583	0,590	0,674	0,628	
<b>Cf</b>	0,807	0,811	0,857	0,832	
<b>XB (m)</b>	-1,80	-1,70	-0,55	-1,18	
<b>BHP (CV)</b>	12000				
<b>TPF (t)</b>	150				
<b>Δ (t)</b>	7900 (aproximación)	8072 (Meredith)	8113 (Azpiroz)		
<b>T (m)</b>	8,43	8,30	7,03	7,66	

*Tabla 8. Resumen de las estimaciones*

#### 4.1. Eslora, $L_{pp}$ , y número de Froude, $Fr$

Los valores estimados se consideran adecuados puesto que sólo obtuvo la eslora entre perpendiculares mediante la correlación  $L_{pp} = f(\sqrt[3]{TPM})$  que tiene un valor muy cercano a uno del coeficiente de correlación. Por lo tanto:

$$L_{pp} = 78,20 \text{ m}$$

$$Fr = 0,316$$

#### 4.2. Manga, $B$

La consideración más importante que hay que tener en cuenta es la estabilidad transversal. En el comportamiento en la mar de los buques de apoyo a plataformas, el hecho de llevar grandes cargas sobre cubierta eleva el centro de gravedad, lo que hace disminuir la altura metacéntrica. Además el momento adrizante disminuye por la entrada de agua en cubierta. Por consiguiente, en este tipo de buques la manga es mayor de lo que sería normal en un carguero de la misma eslora, pues se requiere la máxima estabilidad. Muy raramente se tienen en cuenta consideraciones hidrodinámicas para elegir el valor de la manga.

Se estimaron dos valores de la manga que no diferían el uno del otro más que un 1%. Se decide escoger la manga calculada mediante la correlación  $B = g(TPM)$  porque el peso muerto es dato de las especificaciones, por lo que:

$$B = 21,70 \text{ m}$$

#### 4.3. Puntal, $D$

Para elegir un puntal adecuado se suele cuidar el cumplimiento de los criterios de estabilidad, que haya suficiente espacio para la cámara de máquinas y que satisfice el francobordo.

Como el puntal se calcula a partir de la manga, debido a que su aumento va unido a aumentos de la manga, se elige de las estimaciones los valores obtenidos a partir de  $B = 21,7\text{m}$ , es decir, 9,42m y 9,37m. Como su valor difiere en escasos centímetros, se puede concluir que:

$$D = 9,40 \text{ m}$$

#### 4.4. Coeficientes adimensionales de la carena

El coeficiente de bloque se fija sobre todo por consideraciones hidrodinámicas, aunque la capacidad de carga tiene también una parte importante en la decisión. Los

valores estimados según las expresiones de Alexander, Townsin, Azpiroz y Meredith para los coeficientes de bloque, maestra, prismático y de la flotación son:

	<b>CB</b>	<b>CM</b>	<b>CP</b>	<b>C<sub>f</sub></b>
1	0,549 (Alexander)	0,942	0,583	0,807
2	0,558 (Townsin)	0,946	0,590	0,811
3	0,659 (Azpiroz)	0,977	0,674	0,857
4	0,604 (Meredith)	0,963	0,628	0,832

Tabla 6. Coeficientes adimensionales de la carena

La fórmula de Azpiroz para el coeficiente de bloque da un resultado muy disperso con respecto a las otras fórmulas, por lo que no se considerarán los resultados obtenidos con ella.

Los buques rápidos deberán tener un coeficiente de bloque bajo para que la resistencia al avance del buque sea menor. El buque proyecto debe desarrollar una velocidad de 17 nudos al 90% MCR, lo cual es un valor bastante alto comparado con otros buques de apoyo a plataformas. Por esta razón se decide elegir las estimaciones hechas a partir de la expresión de Meredith. Por tanto:

$$CB = 0,604$$

$$CM = 0,963$$

$$CP = 0,628$$

$$C_f = 0,832$$

#### 4.5. Posición longitudinal del centro de carena, XB

Este valor se estimó gracias a la fórmula de L. Troost a partir del valor del coeficiente prismático. Como se ha decidido seleccionar los resultados calculados a partir de la expresión de Meredith, el valor de la posición longitudinal del centro de carena será:

$$XB = -1,18m$$

El signo menos indica que el centro de carena está a popa de la cuaderna maestra.

#### 4.6. Potencia, BHP

La potencia se ha estimado en un apartado anterior a partir de una correlación con la eslora entre perpendiculares. El resultado obtenido sirve para hacerse una idea del valor para el buque proyecto, puesto que el cuaderno 6 tiene como finalidad determinar

la potencia propulsora, detallando el número de motores y el sistema de propulsión. El tiro a punto fijo se estima como un porcentaje de dicha potencia. Entonces se tiene que:

$$\boxed{BHP = 12000CV}$$

$$\boxed{TPF = 150t}$$

#### 4.7. Desplazamiento, $\Delta$ , y peso en rosca, PR

Se puede calcular ahora una nueva estimación del desplazamiento y peso en rosca con las dimensiones de la alternativa seleccionada. Se emplean como antes las expresiones dadas por Azpíroz y Meredith en función del número cúbico y la potencia de la maquinaria, obteniéndose  $\Delta = 8090t$  y  $\Delta = 8140t$  respectivamente.

Sin embargo, al no haberse realizado todavía la definición de las formas, la elección de los motores y el cálculo detallado de la potencia, lo cual se hará en cuadernos posteriores, en función de todo ello el desplazamiento puede variar algunas toneladas. No obstante, se decide estimar para la alternativa seleccionada un desplazamiento de 8139 toneladas, que es el valor más alto, obtenido mediante la expresión de Meredith.

El peso en rosca se puede calcular, como es de sobra conocido, mediante la diferencia del desplazamiento y el peso muerto.

$$\boxed{\Delta = 8140 t}$$

$$\boxed{PR = 3640 t}$$

$$\boxed{TPM = 4500 t}$$

#### 4.8. Calado, T

El calado es la dimensión más barata del proyecto. Es decir, si no hay restricción alguna en el calado, el hundir más el buque es relativamente barato, siempre que se tenga margen en el puntal del mismo. Es importante tener en cuenta que se debe obtener un francobordo razonable, para poder cumplir con la Normativa de Francobordo mínimo.

Para su cálculo se ha empleado la expresión del coeficiente de bloque:

$$CB = \frac{\Delta}{LBT \cdot 1,025}$$

que depende de la eslora, la manga y el desplazamiento, por lo que se estimó su valor en último lugar.

Con las dimensiones de la alternativa seleccionada se deduce que el calado debe ser:

$$\boxed{T = 7,70 m}$$

## 5. Viabilidad técnica de la alternativa seleccionada

### 5.1. Verificación de las relaciones adimensionales

Una vez seleccionadas las dimensiones finales del buque proyecto, lo primero que hay que hacer es ver que éstas cumplen con las relaciones adimensionales. Para el buque proyecto se tienen los siguientes valores:

$L_{pp}/B$	$B/D$	$B/T$	$L_{pp}/D$	$T/D$
3,60	2,31	2,82	8,32	0,82

Tabla 9. Relaciones adimensionales del buque proyecto

El rango de variación de las relaciones adimensionales en la base de datos puede verse en la tabla:

	$L_{pp}/B$	$B/D$	$B/T$	$L_{pp}/D$	$T/D$
Mínimo	3,21	2,09	2,51	7,64	0,92
Máximo	4,04	2,48	3,67	10,00	0,63

Tabla 10. Variación de las relaciones adimensionales en la base de datos

Los valores normales de las relaciones adimensionales que se indican en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, son:

	$L_{pp}/B$	$B/D$	$B/T$	$L_{pp}/D$	$T/D$
Mínimo	2,5	1,9	2,1	5,0	0,78
Máximo	4,7	2,5	2,8	9,5	0,91

Tabla 11. Valores normales de las relaciones adimensionales

En consecuencia las dimensiones elegidas para el buque proyecto se encuentran dentro de los márgenes dados por la base de datos realizada y dentro de los márgenes indicados en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*.

### 5.2 Desglose de pesos

#### 5.2.1. Peso muerto

El análisis del peso muerto se desglosará en las partidas que lo componen: consumos (combustible, aceite, agua dulce y víveres), tripulación y pasaje, pertrechos y carga útil. Según las especificaciones debe ser 4500 toneladas.

##### 5.2.1.1 Consumos

Se descompone esta partida en el peso del combustible, del aceite de lubricación, del agua dulce y de los víveres.

- Peso del combustible

El fabricante suministra la información de los consumos específicos y las características admisibles más desfavorables (viscosidad, etc.) de cada aparato, aunque, por motivos comerciales, en unas condiciones de funcionamiento óptimas.

Como el cálculo de la potencia propulsora y la elección del número de motores se hará en el cuaderno 6, se estimará el peso del combustible a partir de los datos de la capacidad del buque base *Loke Viking*, cuyas dimensiones son las que más se parecen a las del buque proyecto. En ese buque la capacidad del tanque de Marine Diesel Oil es de  $2000 \text{ m}^3$ , aproximadamente. Se considerará una densidad del MDO de  $0,90 \text{ t/m}^3$ . Por tanto:

$$P_{\text{combustible}} = 2000 \text{ m}^3 \cdot 0,90 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 1800 \text{ t}$$

- Peso del aceite de lubricación

En el buque se utilizan distintos tipos de aceite para distintos servicios, que se pueden agrupar en:

-Lubricación de motores.

-Hidráulico, principalmente para la maquinaria de cubierta.

Las cantidades a transportar son recomendadas por los suministradores de los equipos correspondientes.

En los servicios de lubricación es norma disponer un tanque igual o ligeramente superior al de servicio, como reserva o almacén. Para el tanque de servicio se puede estimar un peso entre 3-4% del peso del combustible de propulsión. Así pues:

$$P_{\text{aceite}} = 1800 \text{ t} \cdot 0,04 = 72 \text{ t}$$

- Peso del agua dulce

Para esta partida hay que tener en cuenta que la capacidad de agua dulce que se debe llevar tiene que cubrir las necesidades de los consumos de agua para servicios sanitarios y agua potable, agua dulce de refrigeración y agua de alimentación de calderas.

El agua dulce de refrigeración y el de alimentación de calderas están recomendados por los fabricantes de los aparatos, que son desconocidos en este cuaderno. En la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante* se fija el consumo de agua dulce entre 125 y 200 litros por persona y día, así que se considerará el valor más alto para tener un margen que permita aproximar el agua de refrigeración.

Se indica en las especificaciones del proyecto el requisito de disponer una acomodación para 45 personas. Por lo que el consumo diario de agua dulce será:

$$45 \text{ personas} \cdot 200 \frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} = 9000 \frac{l}{\text{día}} = 9 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Se supondrá que el buque puede navegar durante 3 semanas sin ir a puerto.

$$P_{\text{aguadulce}} = 9 \frac{m^3}{\text{día}} \cdot 21 \text{ días} = 189 m^3 = 189 t$$

- Peso de víveres

Se recomiendan 5 kg por persona y día en buques mercantes y 15 kg por persona y día en buques de pasaje. Como el proyecto es un buque para fines especiales, cuyos tripulantes y pasajeros serán trabajadores de la plataforma a la que se de apoyo, se decide asignar a esta partida 10 kg por persona y por día. Entonces:

$$P_{\text{víveres}} = 10 \frac{kg}{\text{día}} \cdot 45 \text{ pers} \cdot 30 \text{ días} = 13500 kg = 13,5 t$$

### 5.2.1.2 Tripulación y pasaje

A efectos de pesos se considerarán 125kg por persona, por lo que, como se debe disponer una acomodación para 45 personas:

$$P_{\text{tripulación y pasaje}} = 125 kg \cdot 45 \text{ pers} = 5625 kg \approx 5,7 t$$

### 5.2.1.3 Pertrechos

Los pertrechos son todos los elementos que el armador añade como repuestos o necesidades adicionales del buque, como pinturas, estachas y cabos adicionales, etc.

El rango normal del peso de los pertrechos está entre 10 t y 100 t, según el tamaño del buque y el estándar del armador. Se valorarán 50 toneladas.

$$P_{\text{pertrechos}} = 50 t$$

### 5.2.1.4 Carga útil

Como el peso muerto es un dato dado en las especificaciones, el peso de la carga útil debe calcularse por diferencia con el resto de partidas.

$$\begin{aligned} P_{\text{carga útil}} &= TPM - P_{\text{combustible}} - P_{\text{aceite}} - P_{\text{aguadulce}} - P_{\text{víveres}} - P_{\text{tripulación y pasaje}} - P_{\text{pertrechos}} = \\ &= 4500 t - 1800 t - 72 t - 189 t - 13,5 t - 5,7 t - 50 t = 2369,8 t \end{aligned}$$



### 5.2.2. Peso en rosca

No es fácil el cálculo correcto del peso y centro de gravedad en rosca en la fase inicial del proyecto, porque se trata de conceptos condicionados por muchos factores, que no es posible conocer en esa fase, o que exigen cálculos complejos difícilmente realizables entonces.

El peso en rosca se calculará como la suma del peso de la estructura de acero, PA, del equipo y habilitación, PE, y de maquinaria.

$$PR = PA + PE + PMQ$$

- Cálculo del peso de la estructura de acero

Un método general y sencillo que estima el peso de la estructura en función de sus características principales es el método de SV. Aa. Harvald y J. Juncher, que se expone a continuación:

$$PA = C_s(L_{pp} \cdot B \cdot D + Sup)$$

siendo:

- $C_s$ : coeficiente calculado por la fórmula:

$$C_s = C_{so} + 0,064 \cdot e^{-0,50 \cdot u - 0,10 \cdot u^{2,45}}$$

$$u = \log_{10} \left( \frac{TPM}{100} \right)$$

$C_{so}$  para buques de suministro vale 0,0974

-Sup: Volumen en  $m^3$  de superestructuras y casetas. Se puede estimar mediante la fórmula:

$$Sup = 0,8 \cdot B \cdot (1,45 \cdot L_{pp} - 11)$$

Con lo que se tiene que:

$$C_s = 0,11728$$

$$Sup = 1777,5$$

Y, por lo tanto:

$$PA = C_s(L_{pp} \cdot B \cdot D + Sup) = 0,11728(78,2 \cdot 21,7 \cdot 9,4 + 1777,5) = 2079t$$

- Cálculo del peso del equipo y habilitación

En la fase inicial del proyecto no se conocen muchos detalles del buque para poder realizar un cálculo detallado del equipo. Por otra parte, la menor importancia

relativa de este peso, respecto al peso del acero, permite aceptar cálculos sencillos basados en las dimensiones y tipo de buque. De la referencia [1], se extrae la siguiente fórmula para estimar el peso del equipo de buques de suministro:

$$PE = 0,045 \cdot L_{pp} \cdot B \cdot D = 718t$$

- Cálculo del peso de maquinaria propulsora y auxiliar

En un apartado anterior se estimó una potencia propulsora de 12000 CV. No obstante, en el cuaderno 6 se elegirán el número y tipo de motores para la propulsión del buque. Además, como el buque proyecto debe incorporar, según las especificaciones, un sistema de propulsión diesel-eléctrico, no es posible hacer el cálculo del peso de la maquinaria mediante las expresiones reflejadas en la referencia [1].

Por ello, se estima el peso de la maquinaria como la resta de los pesos estimados del acero y el equipo al peso en rosca calculado en un apartado previo.

$$PMQ = PR - PA - PE = 3640t - 2079t - 718t = 843t$$

Como se observa de este desglose del peso en rosca y de la estimación hecha en el apartado 4.7, la alternativa elegida tiene unos valores razonablemente adecuados.

$$PR = PA + PE + PMQ = 2079t + 718t + 843t = 3640t$$

El peso en rosca sigue un proceso iterativo de cálculo a lo largo del proyecto y las estimaciones calculadas de sus partidas requieren, por ello, que se les aplique un margen de seguridad que tenga en cuenta la incertidumbre que existe en cuanto a su valor real. Este margen podrá ir decreciendo conforme se progresa en la definición del buque.

### 5.3 Comprobación del francobordo

El cálculo detallado del francobordo se hará en el cuaderno 5, Cálculos de Arquitectura Naval, con las correspondientes correcciones por eslora, coeficiente de bloque, puntal, arrufo, etc. Ahora se hará una estimación comprobándose que se cumple lo indicado en el Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga de 1966.

Se denomina francobordo a la distancia desde la cubierta completa más elevada, que posee medios de cierre permanentes para todas las aberturas expuestas a la intemperie, hasta una línea de flotación, denominada de “máxima carga”, y hasta la cual permiten cargar las Autoridades de Marina.

En primera aproximación puede estimarse para buques de suministro a plataformas petrolíferas, según la referencia [1], que el francobordo esté generalmente entre los valores 1,2 m y 1,6 m. Se comprueba que el francobordo no está por debajo de dicho intervalo a partir de la diferencia entre el puntal, D, y el calado, T.

$$FB = D - T = 9,4m - 7,7m = 1,7m$$

Con lo que se considera que se satisface el francobordo.

Hay que tener en cuenta que el buque de suministros es un tipo de buque con problemas de estabilidad y un camino simple de mejorarla, bien es verdad que no económico, es incrementar el francobordo por encima de los mínimos deducidos de sus formas.

#### 5.4 Comprobación de la estabilidad

La estabilidad inicial del buque en una situación de carga se define por el valor de la altura metacéntrica GM. En la Orden Ministerial del 16 de Marzo de 1979 se recogen las normas de estabilidad para buques de suministro de las plataformas de perforación en alta mar. En ella se dice que la altura metacéntrica transversal inicial (GM<sub>0</sub>) no será inferior a 0,15 m.

Se sabe que:

$$GM = KM - KG = (KB + BM) - KG$$

Se calculará el valor de GM del buque proyecto estimándolo con las fórmulas expuestas en la referencia [1].

$$KB = \left( 0,858 - 0,37 \cdot \frac{CB}{C_f} \right) T = \left( 0,858 - 0,37 \cdot \frac{0,604}{0,832} \right) 7,7 = 4,54m$$

$$BM = (0,113 \cdot C_f - 0,0306) \cdot \frac{B^2}{T \cdot CB} = (0,113 \cdot 0,832 - 0,0306) \cdot \frac{21,7^2}{7,7 \cdot 0,604} = 6,42m$$

Se puede hacer una aproximación de KG, centro de gravedad del buque en rosca, como el 76% del puntal:

$$KG = D \cdot 76\% = 9,4m \cdot 0,76 = 7,14m$$

Con estos resultados, se estima que el valor de la altura metacéntrica del buque proyecto es:

$$GM = (KB + BM) - KG = 4,54 + 6,42m - 7,14m = 3,82$$

No es inferior al límite de 0,15 m por lo que, en principio, la alternativa seleccionada para el buque proyecto cumple los requisitos de estabilidad.

## 6. Resumen de los resultados obtenidos

El resultado final de los cálculos hechos para la estimación de la configuración, de las dimensiones y de los coeficientes de forma para el buque proyecto se reúnen en la siguiente tabla:

PRINCIPALES DIMENSIONES	
Eslora máxima, $L_{oa}$ (m)	85,00
Eslora entre perpendiculares, $L_{pp}$ (m)	78,20
Manga, B (m)	21,70
Puntal, D (m)	9,40
Calado, T (m)	7,70
Peso muerto (t)	4500
Velocidad (n)	17
Acomodación	45 personas
Desplazamiento, $\Delta$ (t)	8140
Peso en rosca, PR (t)	3640
Potencia, BHP (CV)	12000
Tiro a punto fijo, TPF (t)	150
Coeficiente de bloque, CB	0,604
Coeficiente de la maestra, CM	0,963
Coeficiente prismático, CP	0,628
Coeficiente de la flotación, Cf	0,832
Posición longitudinal del centro de carena, XB (m)	-1,18
Número de Froude, Fr	0,316

Tabla 12. Resumen del dimensionamiento del buques

Y las capacidades estimadas de los tanques de almacenamiento son:

CAPACIDADES DE TANQUES	
Marine Diesel Oil	2000 m <sup>3</sup>
Aceite lubricación	85 m <sup>3</sup>
Agua	189 m <sup>3</sup>

Tabla 13. Resumen del dimensionamiento de los tanques



## **7. Bibliografía general.**

### **7.1. Bibliografía básica**

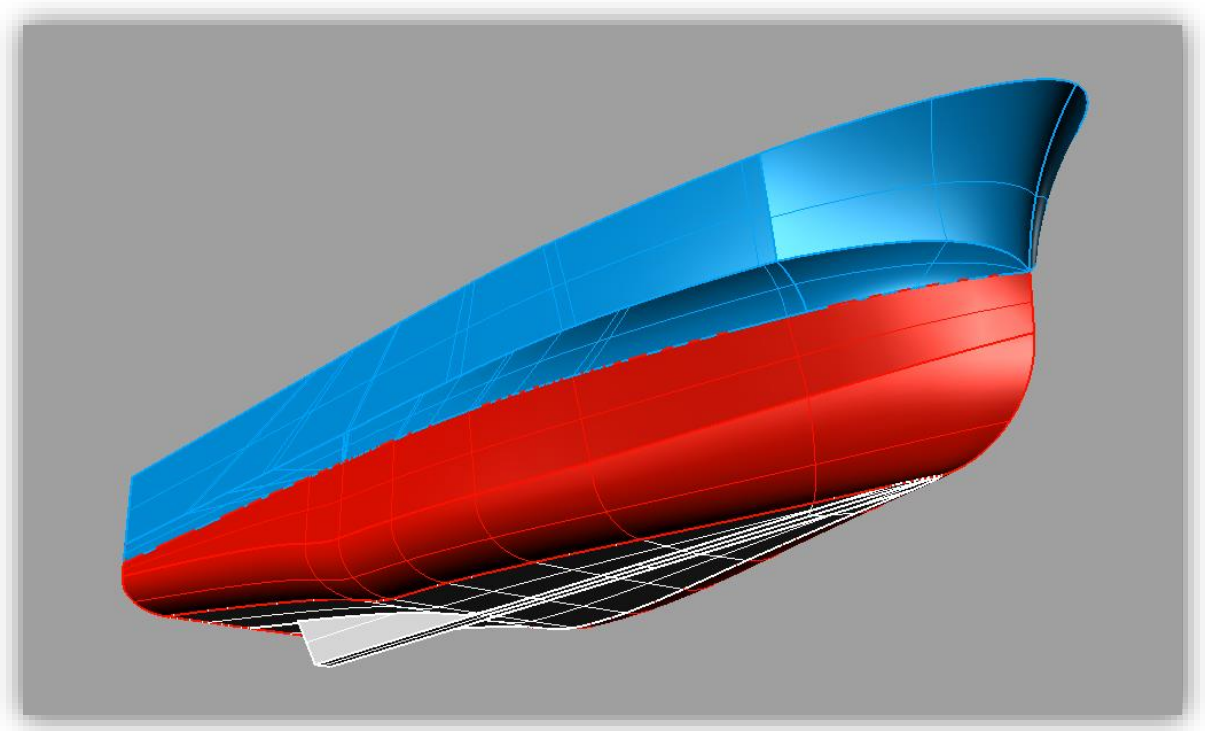
- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Luis Pérez Rojas. *Sobre los buques de suministro*. ETSIN.
- [3] Small Significant Ships. [Revista técnica]. Años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010.
- [4] Rotación. [Revista técnica]. Años 2010, 2011 2012 y 2013.
- [5] Viking Supply Ships. [Web en línea]. The Fleet <> <http://www.vikingsupply.com/>.
- [6] Rolls Royce. [Web en línea]. Offshore vessels <> [http://www.rolls-royce.com/marine/ship\\_design\\_systems/ship\\_designs\\_offshore\\_vessels/](http://www.rolls-royce.com/marine/ship_design_systems/ship_designs_offshore_vessels/).
- [7] Damen. [Web en línea]. Markets, offshore <> <http://www.damen.com/en/markets/offshore>.
- [8] Supply Vessels. [Web en línea]. Vessels <> <http://www.supplyvessel.net/>.
- [9] Ulstein Group. [Web en línea]. Anchor Handling Tug Supply Vessels <> <http://www.ulstein.com/Kunder/ulstein/cms66.nsf>
- [10] Maersk Supply Service. [Web en línea]. Anchor Handlers <> <http://www.maersksupplyservice.com/Pages/default.aspx>
- [11] A. Baquero Mayor. *Resistencia al avance*. ETSIN.

### **7.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Normand Mariner. <> <http://www.ulstein.com/>
- [2] Shipsandoil. [Web en línea]. <> <http://www.shipsandoil.com/ShipInformation>
- [3] Seaplace. [Web en línea]. <> Proyectos, buques offshore <> <http://www.seaplace.es/>

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 3**

**Formas**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Análisis previo de la calidad del tipo de formas adoptadas .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Coeficientes adimensionales de la carena y posición longitudinal del centro de carena .....</b>	<b>5</b>
3.1. Coeficiente de bloque, CB.....	6
3.2. Coeficiente de la maestra, CM .....	6
3.3. Coeficiente prismático, CP.....	6
3.4. Coeficiente de la flotación, $C_f$ .....	6
3.5. Determinación de la posición longitudinal del centro de carena, XB .....	7
3.6. Comparación entre los valores estimados y los resultados de Maxsurf .....	7
<b>4. Perfiles de proa y popa.....</b>	<b>7</b>
4.1. Perfil de proa .....	7
4.2. Perfil de popa .....	8
<b>5. Bulbos de proa y popa .....</b>	<b>9</b>
5.1. Bulbo de proa .....	9
5.2. Bulbo de popa.....	10
<b>6. Derivación de formas .....</b>	<b>10</b>
<b>7. Curva de áreas transversales normalizada .....</b>	<b>14</b>
<b>8. Plano de formas con tres longitudinales y dos diagonales .....</b>	<b>15</b>
<b>9. Bibliografía general .....</b>	<b>16</b>
9.1. Bibliografía básica.....	16
9.2. Bibliografía complementaria .....	16

## **Figuras**

Figura 1. Perspectiva del buque proyecto.....	3
Figura 2. Instantánea de Maxsurf del modelo Anchor Handling Vessel.....	5
Figura 3. Curva de áreas del modelo Anchor Handling Vessel.....	6
Figura 4. Perspectiva de proa del buque proyecto.....	9
Figura 5. Perspectiva de popa del buque proyecto .....	10
Figura 6. Perspectiva del primer modelo.....	12
Figura 7. Perspectiva del buque proyecto final .....	13
Figura 8. Instantánea de Maxsurf del buque proyecto.....	13
Figura 9. Curva de áreas del buque proyecto .....	15

## **Tablas**

Tabla 1. Resumen del dimensionamiento del buque .....	4
Tabla 2. Comparación de los coeficientes adimensionales .....	8
Tabla 3. Características hidrostáticas del casco.....	14

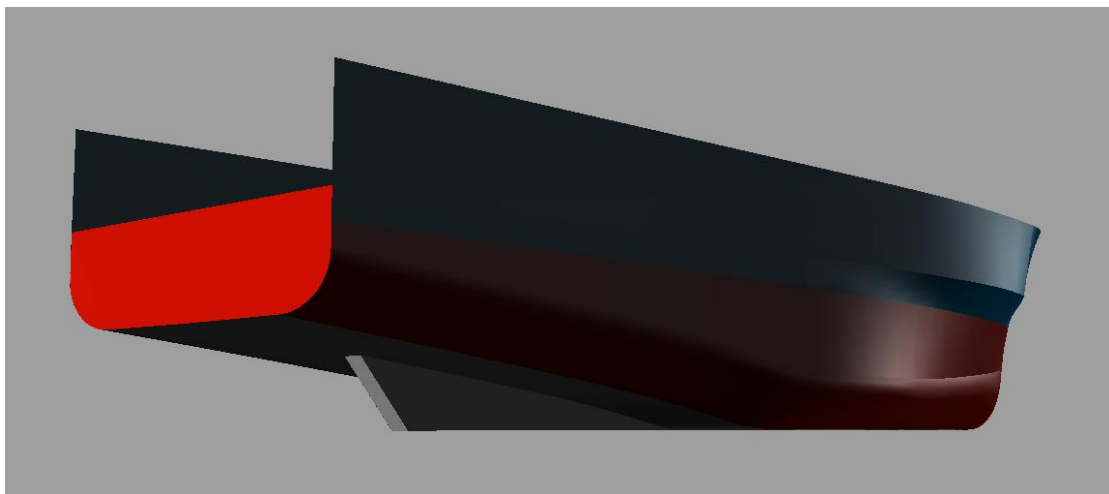


## **1. Introducción**

En este cuaderno se estudian las formas que va a tener el buque proyecto, sin tener en cuenta la superestructura, concluyendo al finalizar con la definición del plano de formas de éste. Además, se presentará la información sobre los coeficientes adimensionales de la carena establecidos de forma definitiva, los perfiles de proa y popa, la posible instalación de bulbos y la curva de áreas transversales normalizada.

En el proceso de definición de las formas del buque proyecto se emplean el programa de arquitectura naval Maxsurf y los programas de diseño asistido por ordenador AutoCAD y Rhinoceros. La forma de proceder es trabajar a partir de un buque de la base de datos de Maxsurf cuyas características se asemejen a las del proyecto. A partir de éste se modifican las formas y las dimensiones de modo que se obtenga un casco modelo que se pueda exportar a los programas de diseño, donde se culmina la fase de establecimiento de las formas. Hay que poner atención a la configuración creada, comprobando mediante la curvatura de las formas que no haya abolladuras en el casco.

Una vez obtenidas las formas definitivas, se obtiene el plano de formas y la curva de áreas transversales normalizada.



*Figura 1. Perspectiva del buque proyecto*

## **2. Análisis previo de la calidad del tipo de formas adoptadas**

Los buques de apoyo a plataformas, con el fin de aumentar su capacidad de carga, tienen, en general, formas relativamente llenas para su relación velocidad/eslora. Este hecho puede hacer dar mayor importancia al peso muerto que a la velocidad en estos buques. No obstante, las especificaciones del proyecto exigen una velocidad de servicio alta si se compara con la de los buques base del cuaderno 2. Por consiguiente se puede predecir que se requerirán unas formas finas.

La principal característica de este buque es que presentan una cubierta muy despejada que puede transportar aquellos elementos o sistemas de una plataforma que, por su peso y dimensiones, no pueden ser transportadas por helicóptero.

En su interior se pueden transportar otro tipo de suministros como tubos, piezas pequeñas, etc., así como víveres para la dotación de la tripulación.

En general, las formas del casco de los buques de suministro pueden corresponder a formas curvas o a formas hidrocónicas con simple o doble codillo. Un diseño cuidadoso de formas hidrocónicas puede proporcionar una resistencia al avance equivalente a unas formas curvas y la presencia de codillos mejora el amortiguamiento al movimiento de escora, junto con su más fácil construcción.

Las dimensiones principales a tener en cuenta para la definición de las formas del buque proyecto, que se estimaron en el anterior cuaderno, se resumen en la tabla:

<b>PRINCIPALES DIMENSIONES</b>	
Eslora entre perpendiculares, $L_{pp}$ (m)	78,20
Eslora máxima, $L_{oa}$ (m)	85,00
Manga, B (m)	21,70
Puntal, D (m)	9,40
Calado, T (m)	7,70
Peso muerto (t)	4500
Velocidad (n)	17
Desplazamiento, $\Delta$ (t)	8100
Peso en rosca, PR (t)	3600
Coeficiente de bloque, CB	0,604
Coeficiente de la maestra, CM	0,963
Coeficiente prismático, CP	0,628
Coeficiente de la flotación, Cf	0,832
Posición longitudinal del centro de carena, XB (m)	-1,18
Número de Froude, Fr	0,316

*Tabla 1. Resumen del dimensionamiento del buque*

Con estos datos se deben definir las formas del buque proyecto, pero las posibilidades son infinitas, y el objetivo es conseguir el perfil óptimo desde el punto de vista hidrodinámico que satisfaga las especificaciones del proyecto. Para el establecimiento de las formas se emplea el programa de arquitectura naval Maxsurf,

eligiendo un buque de su base de datos que servirá como modelo de partida. A partir de este buque se varía su configuración, mediante transformaciones paramétricas, hasta convertirla a la del buque proyecto. En un paso posterior se acabará el diseño del casco mediante el programa de diseño Rhinoceros, analizando y optimizando sus curvaturas para conseguir así unas formas lisas y sin abolladuras.

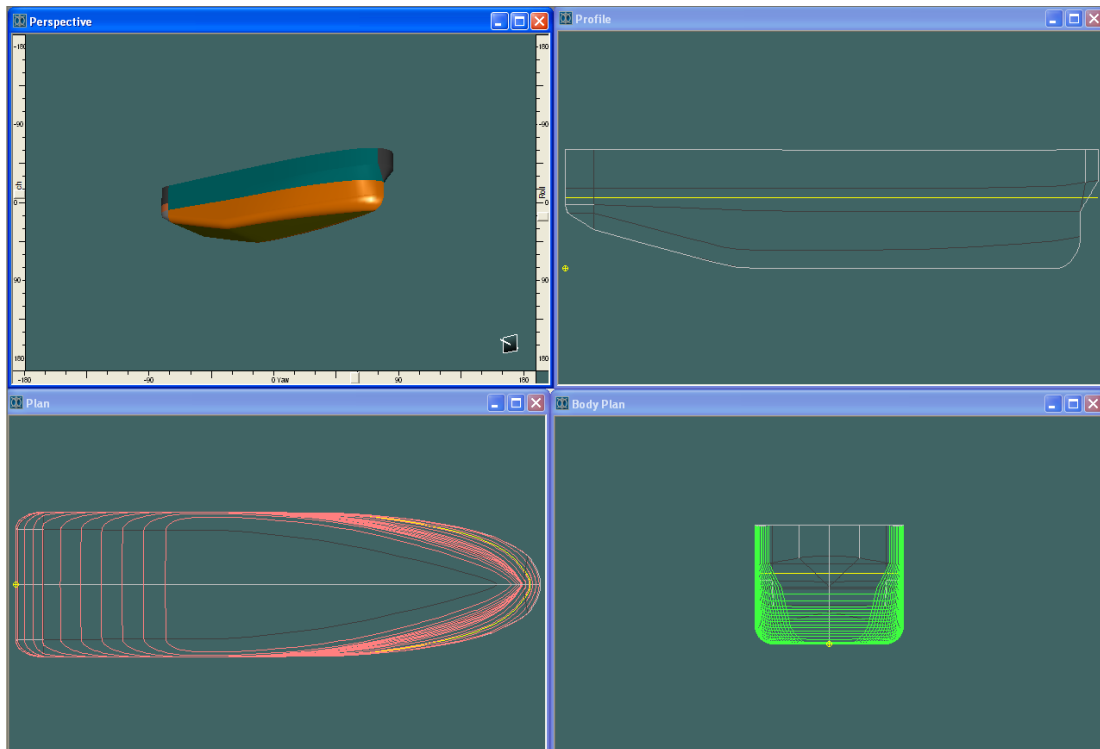
El modelo de Maxsurf elegido es un Anchor Handling Vessel, cuyos requisitos operativos son los que más se asemejan a los del buque proyecto. Las principales características de este modelo son:

- Las formas presentan doble codillo, lo cual beneficia al comportamiento del buque en maniobras de remolque.

- No hay bulbo de proa.

- En la zona de popa las cuadernas tienen formas en U, con lo que se genera una estela homogénea y se facilita el flujo de agua hacia las hélices, aumentando el rendimiento propulsor del buque.

En la siguiente imagen se puede ver el aspecto del buque tomado como modelo para la definición de las formas, en una instantánea del programa Maxsurf.



*Figura 2. Instantánea de Maxsurf del modelo Anchor Handling Vessel*

La curva de áreas de este buque tiene la forma que se ve a continuación. Se puede apreciar una concavidad acusada en proa, el cuerpo cilíndrico es corto y la forma global es típica de un buque de alto número de Froude.

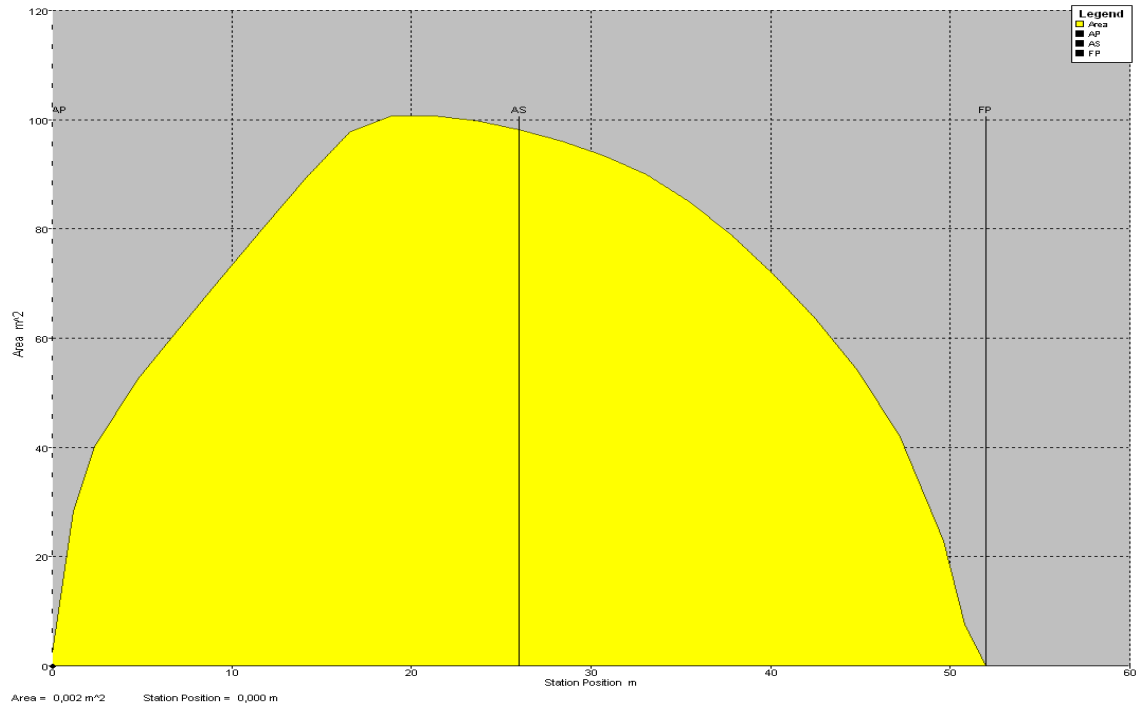


Figura 3. Curva de áreas del modelo Anchor Handling Vessel

Al tener como requisito de las especificaciones del buque proyecto 4500 toneladas de peso muerto, en la definición de las formas no sólo se han tenido en cuenta aspectos hidrodinámicos, sino que además se ha tenido en cuenta la estimación del desplazamiento hecha en el cuaderno 2, 8100 toneladas. Mediante transformaciones paramétricas utilizando el programa Maxsurf se ha buscado optimizar las formas al dimensionamiento estimado. Esto es un proceso iterativo que requiere la toma de decisiones frente a diferentes alternativas, con lo que se sigue una espiral de diseño en el proyecto hasta lograr el producto final.

### **3. Coeficientes adimensionales de la carena y posición longitudinal del centro de carena**

Los coeficientes adimensionales de la carena se estimaron en el cuaderno 2 a partir de las expresiones de Alexander, Townsin, Azpiroz y Meredith. Se decidió elegir los valores obtenidos a partir de la expresión de Meredith para el coeficiente de bloque. Estos fueron, por tanto, los valores que se emplearon de estos coeficientes para hacer las transformaciones paramétricas que dieron como resultado las formas finales del buque proyecto. La posición longitudinal del centro de carena se obtuvo a partir del coeficiente prismático. A continuación se resumen las conclusiones obtenidas.

### 3.1. Coeficiente de bloque, CB

Para estimar el valor del coeficiente de bloque, se ha empleado la expresión dada por Meredith, en función de la velocidad y la eslora, sacada de la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*.

$$CB = 1,135 - 0,276 \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}}$$

Por tanto:

$$\boxed{CB = 0,604}$$

### 3.2. Coeficiente de la maestra, CM

De la referencia [1], se obtiene la siguiente fórmula que relaciona el coeficiente de la maestra, CM, con el coeficiente de bloque, CB, en base a consideraciones hidrodinámicas:

$$CM = \frac{1}{1 + (1 - CB)^{3,5}}$$

Aplicando entonces el coeficiente de bloque antes calculado, se obtiene el siguiente resultado:

$$\boxed{CM = 0,963}$$

### 3.3. Coeficiente prismático, CP

El coeficiente prismático, CP, puede determinarse en función del coeficiente de bloque, CB, y del coeficiente de la maestra, CM, de esta manera:

$$CP = \frac{CB}{CM}$$

Por lo que los valores que se obtienen para este coeficiente son:

$$\boxed{CP = 0,628}$$

### 3.4. Coeficiente de la flotación, C<sub>f</sub>

Para estimar su valor, en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*, se puede ver la siguiente expresión:

$$C_f = 0,45 \cdot CB + 0,56$$

Con lo que se obtiene el siguiente valor:

$$C_f = 0,832$$

### 3.5. Determinación de la posición longitudinal del centro de carena, XB

Este valor se estimó gracias a la fórmula de L. Troost a partir del valor del coeficiente prismático, sacada de la referencia [1] *Proyecto básico del buque mercante*. Como se ha decidido seleccionar los resultados calculados a partir de la expresión de Meredith, el valor de la posición longitudinal del centro de carena será:

$$XB = -1,18m$$

El signo menos indica que el centro de carena está a popa de la cuaderna maestra.

### 3.6. Comparación entre los valores estimados y los resultados de Maxsurf

Como resultado de este apartado se obtiene la siguiente tabla de resultados con la comparación entre los coeficientes adimensionales de la carena estimados en el cuaderno 2, para el dimensionamiento del buque proyecto y los valores obtenidos para las formas finales con el programa Maxsurf.

Estimaciones dimensionamiento					Resultados Maxsurf				
CB	CM	CP	C <sub>f</sub>	XB	CB	CM	CP	C <sub>f</sub>	XB
0,604	0,963	0,628	0,832	-1,18m	0,608	0,963	0,633	0,82	-5,59m

Tabla 2. Comparación de los coeficientes adimensionales

## 4. Perfiles de proa y popa

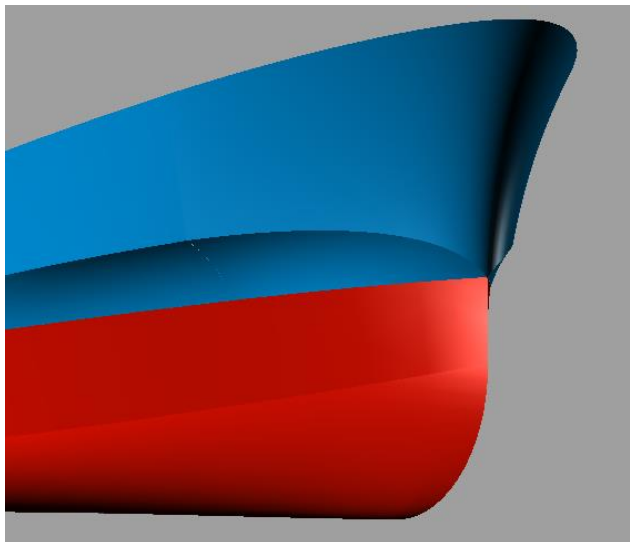
Los cuerpos de proa y popa presentan determinadas características que permiten mejorar en gran medida el comportamiento hidrodinámico del buque, sin afectar apenas a la estiba y manipulación de la carga. Su influencia en la hidrodinámica del buque es importante, puesto que contribuyen en la resistencia al avance y en el flujo que le llega al propulsor.

### 4.1. Perfil de proa

Ante la posibilidad de que el buque proyecto pueda operar en zonas de mala mar, se seleccionan formas en V para el cuerpo de proa. De este modo, al caer el buque

sobre las olas, corta el agua y se evitan los fenómenos de “slamming”, optimizándose principalmente el comportamiento del buque y el confort en la zona de habilitación.

La proa tiene la roda vertical a la flotación y estará convenientemente reforzada para soportar posibles choques con plataformas u otros artefactos cuando esté en situación de operación con posicionamiento dinámico.



*Figura 4. Perspectiva de proa del buque proyecto*

#### **4.2. Perfil de popa**

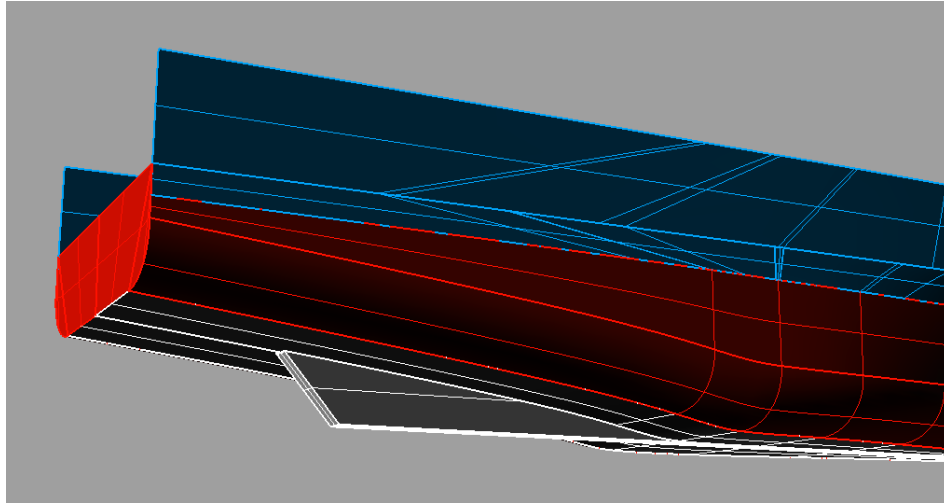
El diseño de esta zona afecta a la propulsión y a la maniobrabilidad del buque puesto que en ella se situarán los equipos propulsores y de gobierno.

Las formas de la popa deben proyectarse para conseguir un flujo estable de entrada de agua a la hélice, que logre una correcta distribución de la estela en el disco de la hélice. Además han de eliminarse los problemas de cavitación y de vibraciones en el casco.

La apariencia de las cuadernas de este perfil se proyecta con secciones longitudinales rectas, lo que facilita el flujo de agua hacia las hélices, aumentando por ello el rendimiento propulsivo del buque. Las formas en U generan una estela mucho más homogénea que las formas en V y son mejores desde el punto de vista de las vibraciones.

Por el tipo de buque que se está proyectando se decide hacer uso de una popa con quillote, debido a que la relación L/B es baja. De esta forma se diferenciarán claramente los flujos de agua a cada propulsor y mejorará la estabilidad de rumbo. No obstante, al tener que girar el buque sobre sí mismo, el quillote hace que el momento necesario sea mayor, con lo que las necesidades de empuje tendrán que aumentar y se perjudicará a la maniobrabilidad del buque cuando está operando junto a plataformas con el posicionamiento dinámico activado.

En la flotación las líneas de agua terminan en una popa de espejo, la cual disminuye la resistencia de presión de origen viscoso.



*Figura 5. Perspectiva de popa del buque proyecto*

## **5. Bulbos de proa y popa**

### **5.1. Bulbo de proa**

En casi todos los buques mercantes de hoy en día se ha generalizado el uso del bulbo de proa. No obstante, hay que tener en cuenta que pueden empeorar los efectos de los fenómenos de “slamming”, a pesar de que pudiera disminuirse la resistencia al avance. Asimismo, todo lo que suponga añadir área en proa hace al barco más inestable, por lo que la estabilidad de ruta se vería perjudicada con un bulbo de proa.

Algunos autores indican que, en general, un bulbo de proa es beneficioso, en principio, dentro de los siguientes márgenes:

$$0,65 < CB < 0,815$$

$$5 < \frac{L}{B} < 7$$

$$0,16 < F_r < 0,57$$

No son apropiados los bulbos de proa para buques en los que se verifique:

$$CB \cdot \frac{B}{L} > 0,135$$

Para el caso del buque proyecto solamente el número de Froude entra dentro de los márgenes anteriores y no se disponen de correlaciones fiables que ligen este número con la idoneidad del bulbo. De igual modo la solución del cálculo,  $CB \cdot \frac{B}{L}$ , resulta ser mayor de 0,135.



A la vista de estas conclusiones, se ha considerado no instalar bulbo de proa. Se estudió la opción de definir las formas del buque proyecto a partir de un buque de la base de datos de Maxsurf tipo OSV (Offshore Supply Vessel) y realizar con éste las correspondientes transformaciones paramétricas. Como resultado se obtenían unas formas que debían ser las adecuadas para el dimensionamiento calculado en el cuaderno 2. Y, al final del proceso de definición de esas formas, surgía un buque que sí tenía bulbo de proa. Sin embargo, las dimensiones obtenidas con ese modelo base no se ajustaban tan bien a la configuración del buque proyecto estimada en el cuaderno 2 como las elaboradas a partir del modelo “Anchor Handling Vessel”.

## **5.2. Bulbo de popa**

En los buques de dos hélices los coeficientes de estela suelen ser menores que para el caso de buques de una hélice, ya que la componente viscosa es menor al estar normalmente las hélices gemelas más separadas del casco y menos inmersas en la capa límite del buque. Cuanto más se acerquen las curvas isoestelas a circunferencias concéntricas más uniforme será el flujo que llega a la hélice y, por tanto, se reducirán así los ruidos y vibraciones transmitidos al buque. En el cuaderno 6 se explica que, en principio, el buque se proyecta para instalarle sendos propulsores azimutales tipo Pod que cuelgan del casco a través de unos arbotantes, con lo que no habrá líneas de ejes hasta las hélices.

Por todo ello se resuelve no instalar bulbo de popa, debido a que sus efectos desventajosos en la resistencia de las formas no se compensarían con conseguir una mayor uniformidad del flujo a las hélices.

A la hora de decidir el sentido de rotación de las hélices debe tenerse en cuenta la configuración del campo de estelas transversal. Si éste sentido es contrario al de las componentes tangenciales de la estela se recuperará parte de la energía inicial de rotación del agua y se obtendrán rendimientos propulsivos algo mayores.

## **6. Derivación de formas**

Como se dijo en un apartado anterior, los softwares utilizados para el establecimiento de las formas son el programa de arquitectura naval Maxsurf y los programas de diseño asistido por ordenador AutoCAD y Rhinoceros.

El comienzo de este procedimiento consiste en la elección de las formas de un buque base considerado bueno hidrodinámica y operacionalmente, a partir de las cuales se derivarán las formas del buque proyecto.

Se elige el modelo de la base de datos de *Maxsurf Anchor Handling Vessel*, cuyos requisitos operativos son los que más se asemejan a los del buque proyecto.

A continuación se realizan, partiendo de la configuración de ese buque base, sucesivas transformaciones paramétricas fijando las dimensiones (manga, calado, coeficiente de bloque, coeficiente prismático y coeficiente de la maestra) estimadas para el buque proyecto hasta conseguir unas formas adecuadas.

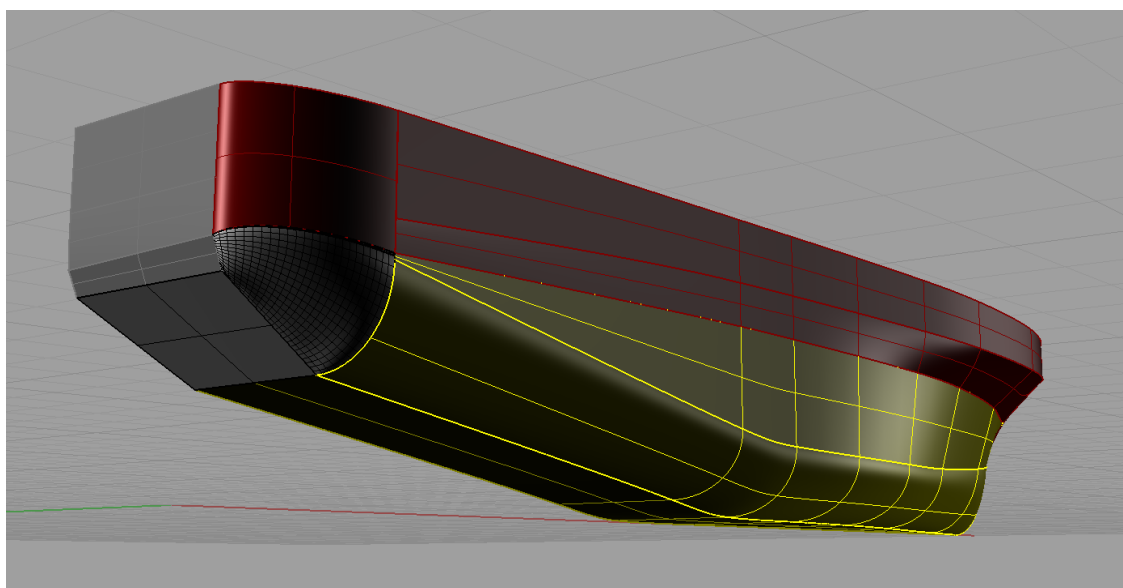
Posteriormente se culmina el diseño del casco mediante el programa de diseño Rhinoceros, analizando y optimizando sus curvaturas para conseguir así unas formas lisas y sin abolladuras. Lo realizado en esta fase consiste en la modificación de las formas mediante la manipulación de los puntos de control y la creación de nuevas superficies hasta obtener el resultado deseado.

Las formas del casco están diseñadas con doble codillo, lo que facilita la labor de construcción y proporciona adecuadas características hidrodinámicas para las tareas de remolque.

Se comprobó también que hubiese huelgo suficiente en el codaste para el equipo propulsor y de gobierno, además de verificar el aspecto de la curva de áreas.

Finalmente se alcanza una solución de compromiso en las formas bastante ajustada a los resultados obtenidos en el cuaderno 2, Dimensionamiento.

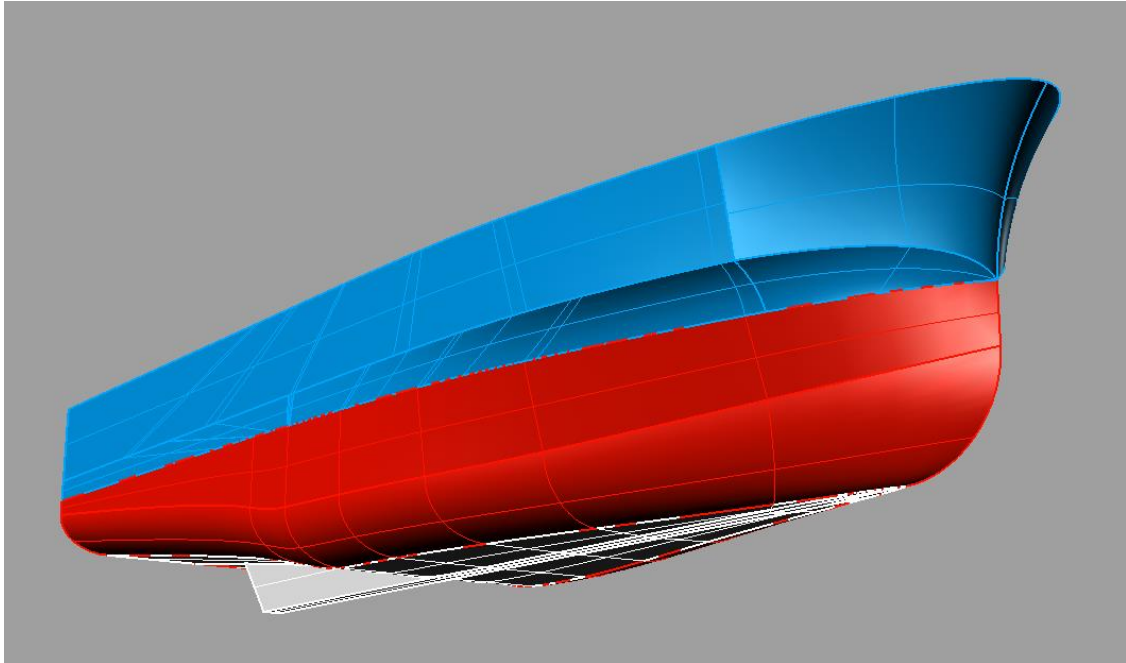
En esta imagen se muestra un esbozo de uno de los primeros modelos, en el que se puede ver que el fondo del buque en la zona de popa acababa en dos superficies longitudinales de distinta inclinación. Esta opción daba un buque que se adecuaba mucho al dimensionamiento calculado.



*Figura 6. Perspectiva del primer modelo*

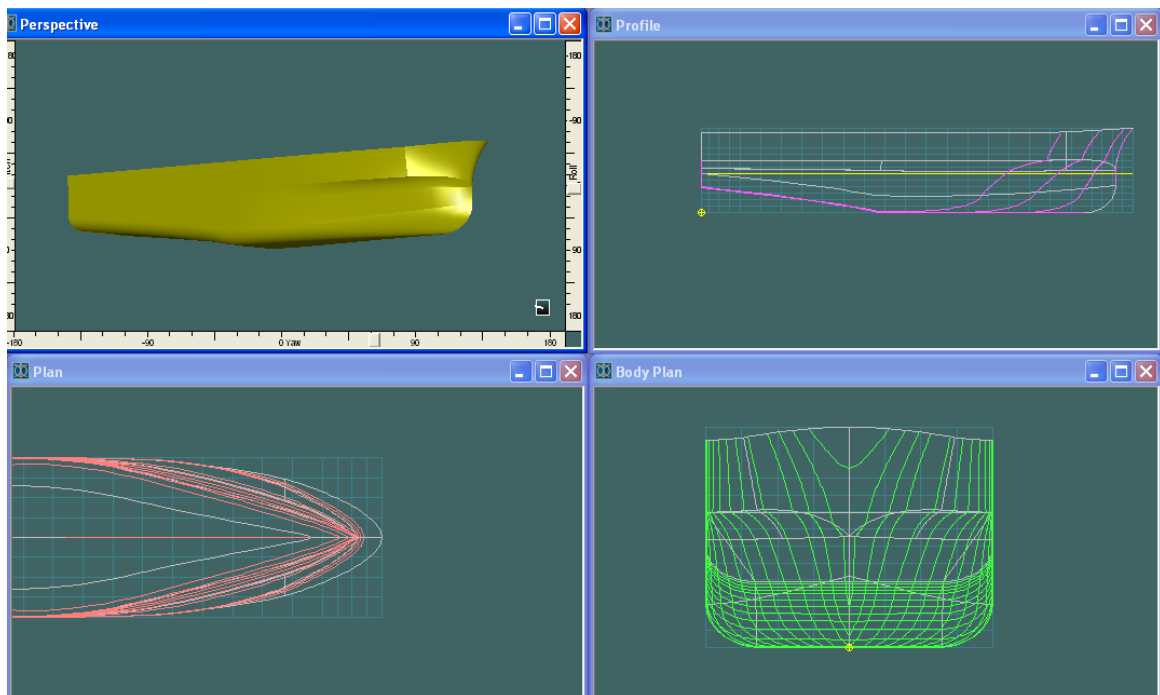
Sin embargo, esa zona de popa no parecía buena desde el punto de vista hidrodinámico ni operacional. Por tanto se decidió, observando buques existentes de

apoyo a plataformas, dar una terminación recta en la superficie del fondo del buque, como se ve en esta otra imagen del casco del buque proyecto final.



*Figura 7. Perspectiva del buque proyecto final*

Con el casco ya definido completamente se puede comenzar con la obtención de las secciones que conformarán el plano de formas del buque proyecto, esto es, las cuadernas, líneas de agua, longitudinales y diagonales. En esta instantánea extraída de Maxsurf se puede ver una vista general de la obtención de esas curvas con dicho programa.



*Figura 8. Instantánea de Maxsurf del buque proyecto*

Las características hidrostáticas del casco para el calado de diseño, 7,70 m, y trimado nulo se obtuvieron con Maxsurf una vez acabada la definición de las formas. La densidad fijada para los cálculos es la del agua salada, 1,025 t/m<sup>3</sup>, y las características que se indican son: entre otras, serán: Desplazamiento y volumen de carena, calado, eslora entre perpendiculares, manga, área de flotación, superficie mojada, coeficientes adimensionales de la carena (prismático, de bloque, de la maestra y de la flotación), abscisa centro de carena y abscisa centro flotación, altura metacéntrica transversal y longitudinal, toneladas por cm inmersión, momento necesario para trimar 1 cm, momento necesario para escorar un grado.

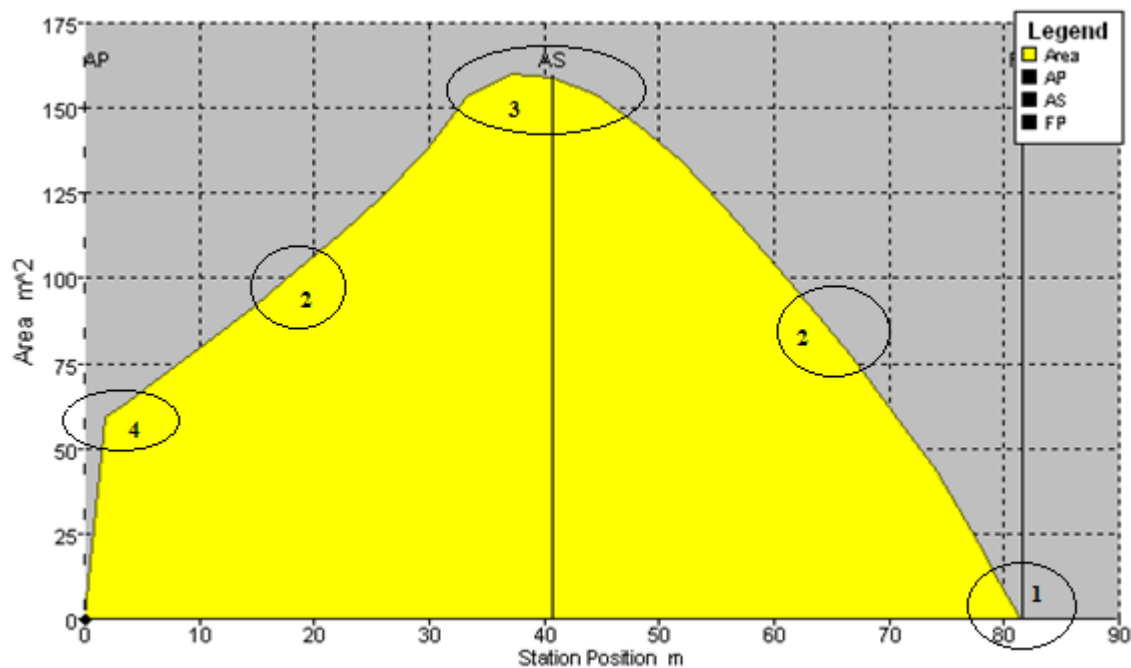
Hydrostatics at DWL		
Displacement	8481,758	tonne
Volume	8274,885	m <sup>3</sup>
Draft to Baseline	7,7	m
Immersed depth	7,7	m
Lwl	81,502	m
Beam wl	21,7	m
WSA	2289,223	m <sup>2</sup>
Max cross sect area	160,317	m <sup>2</sup>
Waterplane area	1450,33	m <sup>2</sup>
Cp	0,633	
Cb	0,608	
Cm	0,963	
Cwp	0,82	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	38,678	m
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	35,17	m
LCB from zero pt. (+ve fwd) % Lbp	47,457	%
LCF from zero pt. (+ve fwd) % Lbp	43,152	%
KB	4,536	m
KG	0	m
BMt	5,883	m
BMI	74,703	m
GMt	10,419	m
GMI	79,239	m
KMt	10,419	m
KMI	79,239	m
Immersion (TPc)	14,866	tonne/cm
MTc	82,463	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1542,342	tonne.m
Precision	Medium	50 stations

Tabla 3. Características hidrostáticas del casco

## **7. Curva de áreas transversales normalizada**

La curva de áreas se obtiene representando las áreas de cada cuaderna en función de la eslora. La importancia de esa curva radica en que indica cómo está repartido el desplazamiento a lo largo de la eslora. Además aporta otros datos, como el coeficiente prismático, lo posición longitudinal del centro de carena (centro de gravedad del área) y el volumen de carena (área encerrada por la curva de áreas).

Para el buque proyecto se ha obtenido la siguiente curva de áreas, en la que se han señalado los puntos que se explican debajo:



*Figura 9. Curva de áreas del buque proyecto*

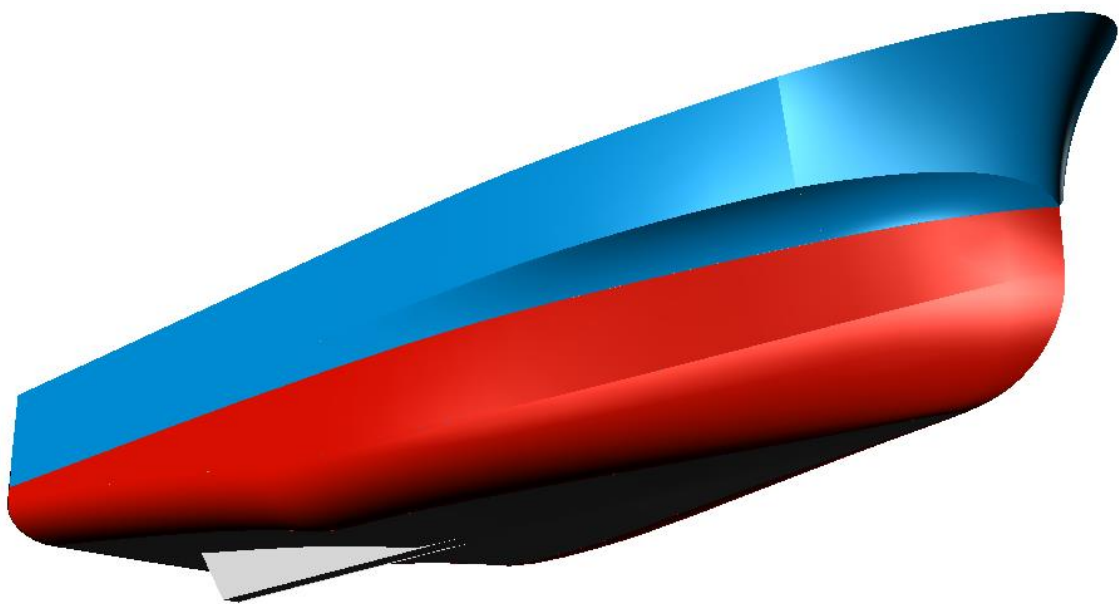
1. La curva debe tener concavidad en la zona de proa para que, de este modo, la entrada de agua afecte lo menos posible al aumento de la resistencia al avance.
2. Debe tener tramos rectos claros y definidos en los cuerpos de entrada y salida, lo cual hace ver que el volumen varía de forma aproximadamente proporcional en esas zonas
3. Se observa que prácticamente no hay cuerpo cilíndrico. Esto se debe a que el buque se ha proyectado para ser un buque rápido, número de Froude 0,316, por lo que debe tener un cuerpo de entrada largo, con objeto de perturbar lo menos posible la superficie del agua y generar las menores olas posibles. El radio de curvatura de los empalmes de los cuerpos de proa y popa debe ser amplio.
4. El buque tiene popa de espejo para mejorar la salida del agua y así reducir la resistencia.

## **8. Plano de formas con tres longitudinales y dos diagonales**

A partir de las formas generadas en este cuaderno con Rhino y Maxsurf, se puede dibujar en Autocad el plano de formas del buque proyecto. En el Anexo se presenta el plano de formas detallado.

El flujo de corriente, tanto en la proa como en la popa, no discurre paralelo a las líneas de agua, sino que en proa tiene una dirección descendente y en popa una dirección ascendente, siguiendo más o menos la expansión/contracción del volumen del casco. Entonces para estudiar mejor el camino real que recorre el flujo, se dibujan en el plano de formas las líneas de vagras o diagonales, que nos dan una idea de dicho recorrido.

La cuaderna 0 está situada en el eje de las unidades Azipod, que se instalarán para la maniobra y propulsión del buque, y la cuaderna 20 en la perpendicular de proa. Tanto en proa como en popa se han dibujado sendas cuadernas a una distancia de la mitad de la clara entre cuadernas de trazado, para así poder apreciar mejor las formas en esas zonas.



## **9. Bibliografía general.**

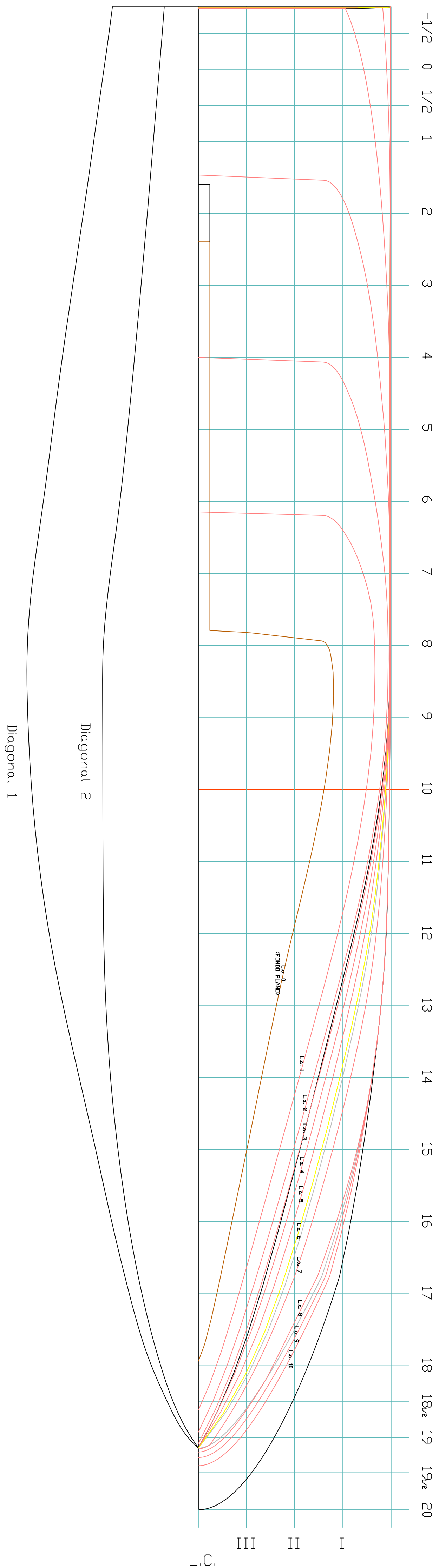
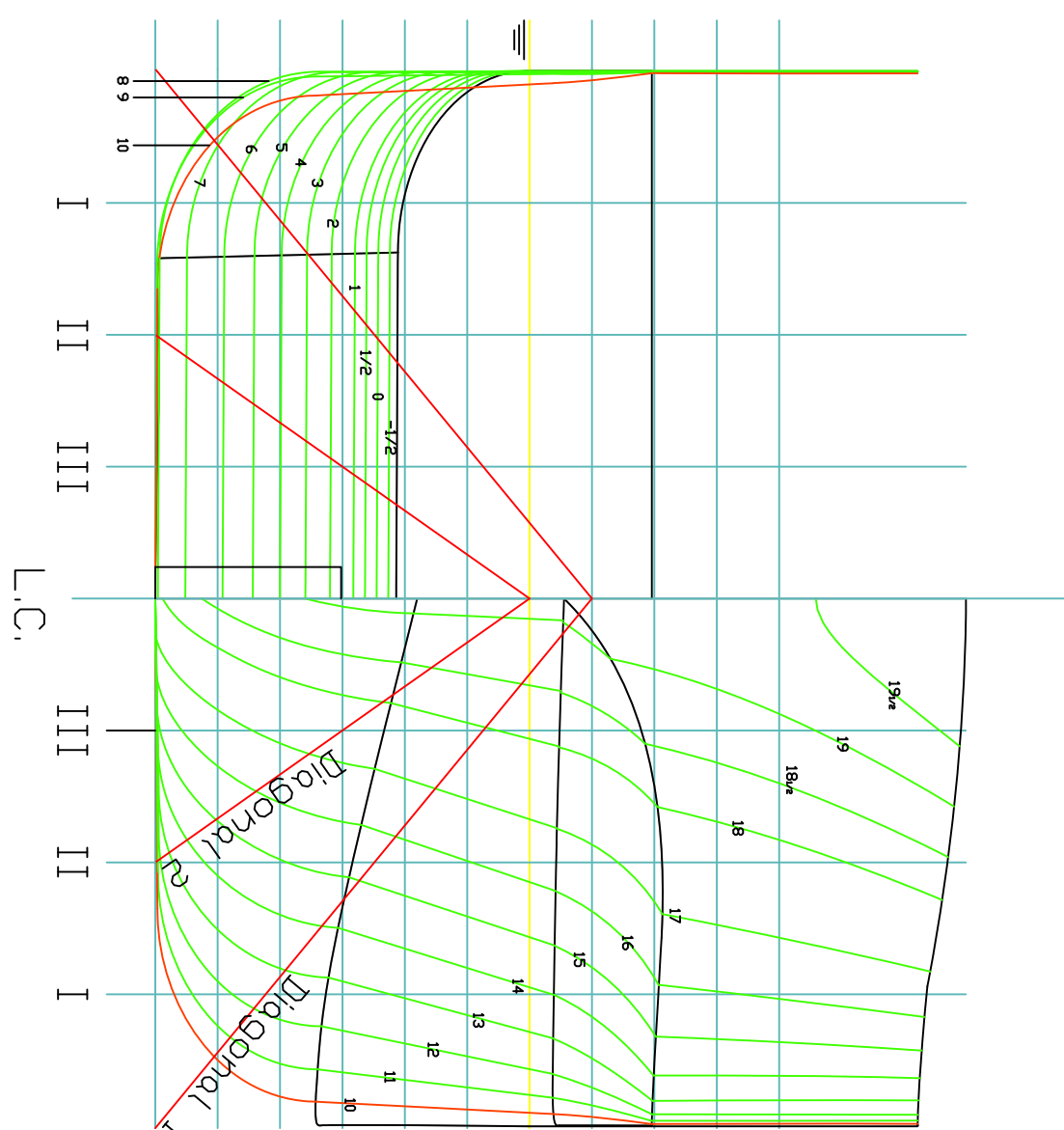
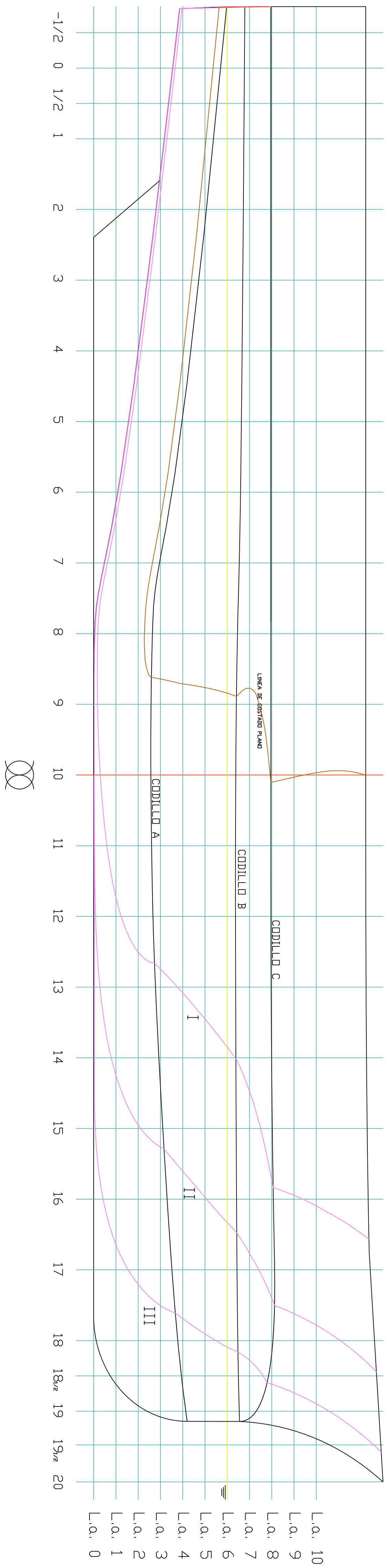
### **9.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Luis Pérez Rojas. *Sobre los buques de suministro*. ETSIN.
- [3] A. Baquero Mayor. *Resistencia al avance*. ETSIN.
- [4] José M<sup>a</sup> González Álvarez-Campana. *Campos de Estelas*. ETSIN.
- [5] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [9] Convenio SOLAS.
- [11] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.

### **9.2. Bibliografía complementaria**


- [1] Viking Supply Ships. [Web en línea]. The Fleet <> <http://www.vikingsupply.com/>.
- [2] Manuel Carlier de Lavalley. *Análisis hidrodinámico y proyecto del bulbo de proa*. Tesis doctoral. ETSIN.
- [3] Imagen de portada. *Perspectiva del buque proyecto obtenida con Rhinoceros*.





## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

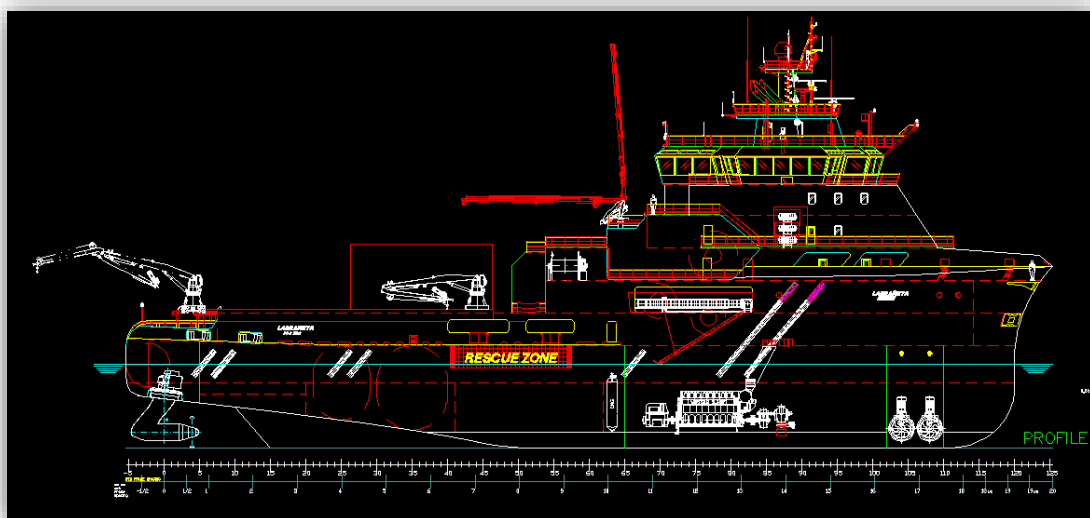
ESLORA MÁXIMA, Loo	85,00	m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES, Lpp	81,46	m
ESLORA EN LA FLOTACIÓN, Lwl	81,50	m
MANGA DE TRAZADO, B	21,70	m
PUNTEL DE TRAZADO, D	10,30	m
CALADO DE DISEÑO, T	7,70	m
CLARA ENTRE CUADERNAS DE TRAZADO	4,07	m
SEPARACIÓN ENTRE LINEAS DE AGUA	1,28	m
COEFICIENTE DE BLOQUE, CB	0,608	m
COEFICIENTE DE LA MAESTRA, CM	0,963	m
COEFICIENTE PRISMÁTICO, CP	0,63	m
COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN, Cf	0,82	m
ABSCISA DEL CENTRO DE CARENA, XB	-5,59	m

					AUTOR:	
					José Lorañeio García	
					TUTOR:	
					José María Roldán Rodríguez	
					E.T.S.I. NAVALES	
						
ESCALA:	FORMATO:	HOUJA:	Nº PFC.:			
1:150	A1	1 / 1	223	BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL NORTE 4500 TPM		
				DISEÑO:		
				PLANO DE FORMAS		
				FECHA:		
				23/4/2014		



**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 4**

**Disposición general**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## **Índice**

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Análisis previo.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Presentación y justificación de la disposición general.....</b>	<b>5</b>
3.1. Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales.....	5
3.1.1. Cuadernas.....	5
3.1.2. Bulárcamas.....	6
3.1.3. Mamparos.....	6
3.1.4. Puntales .....	8
3.2. Disposición de doble fondo, elementos longitudinales y cubiertas.....	8
3.2.1. Doble fondo.....	8
3.2.2. Elementos longitudinales .....	9
3.2.3. Cubiertas .....	10
3.3. Zona de carga y zona de trabajo .....	11
3.4. Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas .....	12
3.5. Habilitación. Tripulación mínima .....	13
3.6. Zonas de amarre y fondeo. Local del servo .....	14
<b>4. Disposición de tanques .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Plano de disposición general.....</b>	<b>18</b>
<b>6. Bibliografía general .....</b>	<b>19</b>
6.1. Bibliografía básica.....	19
6.2. Bibliografía complementaria .....	19
<b>7. ANEXO I – Plano de disposición general.....</b>	<b>20</b>

## **Figuras**

Figura 1. Disposición de los mamparos transversales estancos .....	8
Figura 2. Definición de los límites de los tanques de combustible líquido a efectos de lo indicado en MARPOL.....	17

## **Tablas**

Tabla 1. Número de mamparos.....	6
Tabla 2. Esquema de los camarotes en la zona de la habitación .....	14
Tabla 3. Tripulación mínima del buque proyecto.....	14

## **1. Introducción**

El presente cuaderno se dedica al análisis de la configuración estructural y de espacios del buque, con el objetivo final de definir de forma integrada la disposición general del buque.

En esta parte del proyecto hay que tener muy en cuenta la reglamentación de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y los Convenios SOLAS y MARPOL, además de los requisitos de las especificaciones:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Las conclusiones y resultados alcanzados en los cuadernos anteriores definen las formas y dimensiones principales del casco del buque proyecto, por lo que deben ser respetadas para la elaboración de este cuaderno. No obstante, se debe tratar de conseguir también una configuración que cumpla con los requisitos de estabilidad, distribución de pesos y resistencia estructural.

Las partes consideradas en la disposición general son:

- Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales.
- Disposición de longitudinales, mamparos, cubiertas y doble fondo.
- Zona de carga o de trabajo.
- Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas.
- Disposición de tanques.
- Habilitación.
- Zonas de amarre y fondeo. Local del servo.

Es importante detallar correctamente los accesos a las distintas zonas del buque, de manera que se pueda operar de forma segura y eficiente. Además, se incluye también un estudio de los elementos estructurales que van a conformar el buque, fijando la clara entre cuadernas, y el número y tipo de refuerzos que van a ser necesarios, lo que se analizará detalladamente más adelante.

## **2. Análisis previo**

El buque proyecto se encuadra dentro de los buques de apoyo a plataformas destinados a llevar a cabo tareas de manejo de anclas, remolque de las plataformas de perforación y transporte de suministros y personal. Las cualidades que requieren este tipo de buques suponen los parámetros del diseño de los mismos, puesto que la disposición general está siempre estrechamente vinculada al servicio al que se destina el buque.

De las características del buque proyecto a tener en cuenta para la elaboración de este cuaderno se destacan las siguientes:

- Es necesaria una cubierta de trabajo amplia y despejada a popa del barco que sirve para la estiba de la carga: contenedores, anclas, cadenas, tubos, etc., con lo cual toda la superestructura va situada a proa. Dicha cubierta debe estar convenientemente reforzada y protegida para soportar pesos elevados y evitar daños.
- El tipo de maquinaria de cubierta ha de ser el adecuado para los trabajos que se vayan a realizar. La necesidad de disponer de capacidad de tiro a punto fijo requiere la instalación, en la línea central del buque, de un chigre para remolque y manejo de anclas.
- El puente de gobierno tiene total visibilidad, 360°, para permitir un control continuo de todo el entorno durante la operación del buque, tanto para la navegación como para los trabajos en cubierta.
- Se requiere una acomodación para 45 personas, lo que condiciona los espacios necesarios para los alojamientos. La habilitación irá situada sobre la cubierta principal, encima de cámara de máquinas.
- Las superficies de los mamparos transversales son planas, verticales y con refuerzos, al igual que las superficies de las cubiertas, planas y horizontales, puesto que se procura huir del arrufo por su coste constructivo.
- La mayoría de los espacios y tanques de carga a granel se destinan al almacén y transporte del combustible, agua potable y no potable, lodo de perforación, cemento pulverizado, así como productos químicos utilizados en el proceso de perforación.
- La situación de la cámara de máquinas es a proa del buque, pues la popa es una zona muy fina y se requiere, por tanto, emplazarla en la zona más amplia, con espacio suficiente para albergar los motores principales, bombas y demás equipos.
- El sistema de propulsión diesel-eléctrico implica que los motores vayan acoplados a unos alternadores que proporcionen la energía eléctrica necesaria.
- Según Lloyd's Register, la notación de clase aplicable al buque proyecto es AHTS, lo cual indica los requerimientos que esta Sociedad de Clasificación exige.

### **3. Presentación y justificación de la disposición general**

#### **3.1. Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales**

La estructura de los buques de apoyo a plataformas suele ser transversal en las zonas de proa y popa y longitudinal en la zona central.

Para hacer el compartimentado del buque debe valorarse conjuntamente la posición de las cuadernas con la de las bulárcamas y los mamparos. De esta forma se determinarán las dimensiones de los tanques de carga y las posiciones de los equipos y la maquinaria, que deben coincidir con los refuerzos primarios para que la transmisión de esfuerzos y vibraciones sean adecuadas.

##### **3.1.1. Cuadernas**

La clara entre cuadernas tiene gran importancia en la disposición general por su influencia en los siguientes aspectos:

- El escantillonado de los elementos estructurales afecta al peso resultante de acero, lo cual concierne al coste de construcción, peso en rosca, capacidad de carga y estabilidad del buque.
- El compartimentado del buque se hace en base a la posición de las cuadernas y bulárcamas.
- Dimensiones de los tanques estructurales, ya que los mamparos de los tanques tienen que coincidir con los refuerzos primarios..
- La posición de los equipos y la maquinaria se proyecta de tal forma que la transmisión de esfuerzos a las cuadernas sea la adecuada.

Para definir la separación entre cuadernas se emplean los siguientes criterios:

- Con el objetivo de simplificar la construcción y reducir costes se elige una clara entre cuadernas uniforme en toda la eslora.
- Los valores más habituales para este tipo de buques son alrededor de 600- 650mm.
- Se comienza por situar la cuaderna de constricción 0 en la perpendicular de popa, eje de los propulsores azimutales.
- La Sociedad de Clasificación, Lloyd's Register establece en la tabla 1.7.1 de la Parte 4, Capítulo 1 que la clara entre cuadernas ha de ser:

$$s_1 = a \text{ standard frame spacing, in mm, and is to be taken as } 2(L + 240)$$

Haciendo el cálculo con los datos del buque proyecto se obtiene una separación mínima entre cuadernas de 634,2 mm. Se elige entonces establecer la clara entre cuadernas en **650 mm**.

### 3.1.2. Bulárcamas

La posición de los mamparos estancos y, por tanto, el compartimentado del buque, coincide, como se dijo antes, con la posición de las bulárcamas. Su longitud debe ser un número entero de veces el espaciado entre cuadernas.

Se elige una separación entre bulárcamas de cinco claras de cuadernas, es decir, una bulárcama cada cuatro cuadernas. Esto se mantiene constante a lo largo de toda la eslora del buque y está en el máximo que permite la Sociedad de Clasificación en los extremos del buque.

El espaciado entre bulárcamas es, por tanto, **3250 mm**.

### 3.1.3. Mamparos

De acuerdo con el reglamento de Lloyd's Register, en la Parte 3, Capítulo 3, Sección 4 Bulkhead Requirements, se especifica que para un buque de eslora entre 65 m y 85 m con la maquinaria situada en el centro el número de mamparos deberá ser 4.

**Table 3.4.1 Total number of bulkheads**

Length, <i>L</i> , in metres	Total number of bulkheads	
	Machinery amidships	Machinery aft, see Note
≤ 65	4	3
> 65 ≤ 85	4	4
> 85 ≤ 90	5	5
> 90 ≤ 105	5	5
> 105 ≤ 115	6	5
> 115 ≤ 125	6	6
> 125 ≤ 145	7	6
> 145 ≤ 165	8	7
> 165 ≤ 190	9	8
> 190	To be considered individually	

NOTE  
With after peak bulkhead forming after boundary of machinery space.

*Tabla 1. Número de mamparos*

La situación de estos mamparos estancos es un mamparo de colisión en el pique de proa, sendos mamparos a proa y popa de la cámara de máquinas y un mamparo en el pique de popa. Su ubicación es la que se indica a continuación:

- Pique de proa

Como se indica en los reglamentos de SOLAS (Capítulo II-I, Regla 12) y Lloyd's Register (Parte 3, Capítulo 3, Sección 4 Bulkhead Requirements):

*“Se instalará un mamparo de colisión que será estanco hasta la cubierta de cierre. Este mamparo estará situado a una distancia de la perpendicular de proa no inferior a 0,05L o a 10 m, si esta segunda magnitud es menor, y, salvo cuando la Administración permita otra cosa, dicha distancia no será superior a 0,08L o 0,05L + 3 m, si esta segunda magnitud es mayor”.*

Distancia de la perpendicular de proa mayor a 0,05L o a 10m si esta segunda magnitud es menor:

$$0,05L = 0,05 \cdot 81,5m = 4,075m$$

Esta distancia no será superior a 0,08L o 0,05L+3m si esta segunda magnitud es mayor:

$$0,08L = 0,08 \cdot 81,5m = 6,52m$$

$$0,05L + 3m = 0,05 \cdot L + 3m = 7,075m$$

Por lo tanto, el mamparo del pique de proa debe emplazarse a una distancia de la perpendicular de proa entre los valores 4075 mm y 7075 mm.

Al elaborar la disposición general se ha decidido instalar el pique de proa en la cuaderna 110, a 6357 mm de la perpendicular de proa.

- Mamparos de cámara de máquinas

Se localizan estos mamparos en las cuadernas 65 y 102 respectivamente, con lo que la longitud de la cámara de máquinas es 24,05 metros.

Entre los mamparos del pique de proa y el de proa de cámara de máquinas, cuadernas 110 y 102, se situarán las hélices transversales de proa.

- Pique de popa

El mamparo de popa se ubica de forma que sea capaz de albergar los propulsores azimutales tipo POD. Por ello se ha elegido instalarlo en la cuaderna 5, dejando un espacio para el servomotor de 6,50 metros en sentido longitudinal.

Por otra parte, entre el mamparo de popa de cámara de máquinas y el del pique de popa, cuadernas 65 y 5, irá emplazada la zona de carga con una eslora de 39,00 metros.



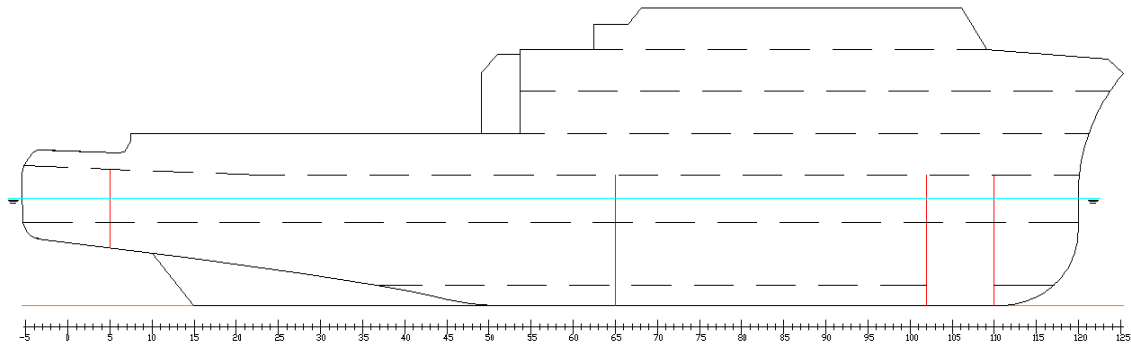


Figura 1. Disposición de los mamparos transversales estancos

### 3.1.4. Puntales

La posición de los puntales del buque proyecto es diferente según la zona del buque que se analice. La separación mayoritaria elegida para estos elementos es dos claras de bulárcamas, es decir, 6500 mm

## 3.2. Disposición de doble fondo, elementos longitudinales y cubiertas

En este punto se analiza la disposición del doble fondo, los longitudinales y las distintas cubiertas del buque proyecto.

Los refuerzos longitudinales también condicionan la disposición de tanques y de otros elementos del buque. El escantillonado de los longitudinales debe cumplir las prescripciones establecidas en la normativa de la Sociedad de Clasificación para cumplir con la resistencia estructural mínima exigida al buque.

### 3.2.1. Doble Fondo

La elección de la altura del doble fondo se hizo conforme a los mínimos exigidos por la normativa, tanto el Convenio SOLAS, como La Sociedad de Clasificación Lloyd's Register. Los requisitos de estas normativas son:

#### Condiciones de SOLAS:

##### Capítulo II-I Regla 9

El techo del doble fondo se prolongará hasta los costados del buque de manera que proteja los fondos hasta la curva del pantoque.

$$760mm \leq h = 1000 \cdot \frac{B}{20} (mm) \leq 2000mm$$

$$h = 1085mm \approx 1100 mm$$

### Condiciones de Lloyd's Register

Part 4. Ch.1, section 8.3.1: The minimum depth of the centre girder is to be taken as the greater of the following: (la mínima profundidad del doble fondo se tiene que tomar como la mayor de las siguientes)

- a)  $d_{DB} = 28B + 205\sqrt{T} mm$
- b)  $d_{DB} = 50B mm$ , but need not be taken as greater than 2000mm.
- c)  $d_{DB} = 760 mm$

$$d_{DB} = 1176,45 mm$$

Es el valor mínimo que debe tener el doble fondo. Se elige un valor para el **doble fondo de 1500 mm**. También se estudia la posibilidad de una altura de 1200 mm, pero se descarta viendo los valores de buques similares.

### 3.2.2. Elementos longitudinales

Los elementos longitudinales que conforman la estructura del buque proyecto son parte de los refuerzos primarios o de los refuerzos secundarios de dicha estructura.

El análisis del diseño de la estructura se realiza en el cuaderno 10, *Resistencia estructural*, haciendo los cálculos relativos al escantillonado y la separación entre los distintos refuerzos, todo ello cumpliendo con la normativa de Lloyd's Register.

Se ha elegido una clara entre longitudinales de 650 mm y, por lo tanto, se han considerado múltiplos de esta distancia para posicionar el resto de refuerzos estructurales. De este modo la disposición estructural resulta más homogénea, simplificándose la construcción y reduciéndose los costes, al igual que se hizo con la clara entre cuadernas.

En el doble fondo del buque se sitúan las vagras del doble fondo. Habrá una vagra en crujía y dos vagras a cada banda del buque. La clara entre las vagras del doble fondo es de 3900 y 3250 mm, cada cinco y seis longitudinales, respectivamente.

Se dispondrán esloras en crujía, en la 1ª cubierta, con la finalidad de contribuir a la resistencia longitudinal y a transmitir cargas a los baos y puntales para que éstos, a su vez, las distribuyan al resto de elementos estructurales.

### 3.2.3. Cubiertas

La situación de las cubiertas es un aspecto importante a considerar a la hora de diseñar la disposición general del buque. Se debe procurar una distribución relativamente homogénea de alturas a partir de la primera plataforma, la cual siempre tiene un puntal más alto sobre el doble fondo que el que se deja entre las restantes plataformas.

En la zona de máquinas y el local del servomotor deben considerarse unas alturas mínimas de 3500 mm a 4000 mm.

La altura total de la zona de alojamientos, sobre la que se sitúa el puente de gobierno, viene impuesta por la visibilidad desde éste. La altura de cada cubierta sobre la inmediata inferior es no menor de 2600 mm, aunque siempre que no haya limitaciones de otro tipo debe estar entre 2800 mm y 3000 mm.

El puntal de la cubierta castillo tiene que satisfacer un requerimiento del reglamento de Líneas de Carga, que establece una altura mínima en la perpendicular de proa, sobre el calado máximo, a efectos de limitar los embarques de agua, lo que condiciona la altura de la cubierta castillo y suele aconsejar dotarla de arrufo. Esto se explicará en el siguiente cuaderno, *Cálculos de Arquitectura Naval*.

Así pues, la distribución de las cubiertas del buque proyecto queda de este modo:

- **Doble fondo, 1500 mm.** Sobre esta cubierta se sitúa la cámara de máquinas, el espacio para los propulsores transversales y la zona de carga.
- **2ª Cubierta, 6000 mm.** Está situada a una altura de 4,5 metros sobre el doble fondo, de tal forma que separa la zona de carga, la cámara de máquinas y el local de los propulsores transversales en dos cubiertas. El local de los propulsores principales del buque proyecto, situado en popa, se encuentra en esta cubierta.
- **1ª Cubierta, 9400 mm.** Es la cubierta principal del buque proyecto. Se divide en una zona de trabajo, a popa de la superestructura en la cubierta de intemperie, con un área amplia y despejada con los equipos y servicios necesarios para el remolque y manejo de anclas y otras cargas; y en una zona de habilitación a proa, donde se encuentran los vestuarios para el personal del buque, el hospital, un local para lavandería, un gimnasio y camarotes para 8 personas.
- **Cubierta - A, 12400 mm.** A popa de esta cubierta se encuentra la cubierta del bote de rescate, morgue, equipos para el manejo de la carga y una escala de embarco a cada banda. Mientras que a proa

se encuentra una zona de habitación con dos salones, comedor, cocina y gambuzas frigoríficas y seca.

- **Cubierta - B, 15400 mm.** En esta cubierta hay una zona de habitación con camarotes para 25 personas. Por otro lado, en la zona de proa se sitúan los equipos necesarios que forman el sistema de fondeo y amarre.
- **Cubierta – C, 18400 mm.** Zona de habitación con camarotes individuales para 9 personas.
- **Cubierta – D, 21400 mm.** La oficina del buque se sitúa en esta cubierta, además de los camarotes del capitán y los primeros oficiales y el local de la unidad de aire acondicionado.
- **Cubierta Puente, 24200 mm.** En esta cubierta se sitúan los paneles de navegación y los equipos e instrumentos de navegación y comunicaciones necesarios para el gobierno del buque proyecto. Destacan los equipos del sistema de posicionamiento dinámico, que es requisito de las especificaciones. Además, a popa del puente se sitúa el panel de control y monitorización de los equipos de remolque y manejo de anclas y otras cargas.
- **Cubierta Castillo, 27600 mm.** Sobre la cubierta Castillo se sitúa el local del generador de emergencia y puerto y el local de la unidad de aire acondicionado del puente de gobierno, además de las luces de navegación y otros instrumentos de navegación.
- **Plataforma radar, 30500 mm.** En ella se sitúan los equipos de radar y comunicaciones. El final de los conductos de exhaustación de los grupos principales del buque proyecto se encuentran en esta cubierta.
- **Sobre plataforma radar, 34700 mm.** Para otros equipos de radar, comunicaciones y navegación.

### 3.3. Zona de carga y zona de trabajo

La disposición de la zona de carga es en dos cubiertas entre los mamparos estancos del pique de popa y de popa de cámara de máquinas, en las cuadernas 5 y 65, y sobre el doble fondo del buque, hasta la 1ª Cubierta. La eslora total de la zona de carga es 39000 mm. En este espacio se sitúan los tanques de carga y la zona de bombas y compresores de carga y descarga. Todos los tanques del buque proyecto deben disponerse cumpliendo con la reglamentación del Convenio MARPOL.

Ya se ha dicho al principio de este cuaderno que es necesaria una cubierta de trabajo amplia y despejada a popa del barco. La zona de trabajo del buque proyecto es la cubierta de intemperie, en la 1ª Cubierta, a popa de la superestructura. En esta cubierta

se disponen los equipos necesarios para el remolque y el manejo de las anclas u otro tipo de carga. Además se instalan pequeños compartimentos que sirven como talleres y almacenes, necesarios para operar con las plataformas offshore.

### **3.4. Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas**

La cámara de máquinas está situada entre los mamparos estancos de proa y popa de cámara de máquinas, es decir, entre las cuadernas 65 y 102 (eslora total 24,05 m). En sentido vertical, el doble fondo, de 1500 mm de altura sobre la línea de base, limita este espacio por la parte inferior, mientras que la 1ª Cubierta, a 9400 mm sobre la línea de base, limita la cámara de máquinas por la parte superior. La 2ª Cubierta, a 6000 mm sobre la línea de base, proporciona una plataforma intermedia entre el techo y el fondo de la cámara de máquinas.

El diseño del espacio de cámara de máquinas se ha hecho conforme al espacio requerido para albergar toda la maquinaria necesaria, especialmente los grupos electrógenos principales, que son los elementos de mayor empacho. Estos cuatro grupos electrógenos se sitúan sobre el doble fondo de la cámara de máquinas de forma simétrica, dos a babor y dos a estribor. Deberá haber una distancia mínima entre los cigüeñales de los grupos electrógenos, con el fin de proporcionar un espacio suficiente entre los motores para su mantenimiento y operación. El guardacalor se sitúa en crujía, a popa de la cuaterna 90.

La cabina de control está situada sobre la 2ª Cubierta, a proa del guardacalor y junto al acceso de proa a cámara de máquinas desde la zona de habilitación. En ella se dispone un sistema de control y monitorización que posibilita el funcionamiento desatendido de la cámara de máquinas. A proa de la cabina de control se instala el local de cuadros eléctricos.

En la 2ª Cubierta hay un taller para poder realizar las labores de mantenimiento de los equipos y servicios que incluye la cámara de máquinas.

La mayoría de los equipos se instalan sobre el doble fondo, que queda muy empachado y, por el contrario, la plataforma de la 2ª Cubierta queda más vacía. Las bombas de agua salada (de lastre, de refrigeración, de circulación, de sentinas, etc.) se sitúan cerca de las tomas de mar, para hacer el colector lo más corto posible.

A ambos costados se disponen, en esta zona del buque, un conjunto de tanques con distintos contenidos para los servicios de cámara de máquinas: aceite, combustible, agua dulce, lastre...

Otros locales de maquinaria, como el del servomotor o los de bombas hidráulicas para la maquinaria de cubierta no ofrecen grandes dificultades, tanto en la elección del emplazamiento, como en la disposición de equipos en su interior.

En el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*, se dimensionarán los equipos requeridos para la operación del buque proyecto.

### **3.5. Habilitación. Tripulación mínima**

La zona de habilitación se dispone en la superestructura de proa del buque proyecto, por encima de la cubierta principal, es decir la 1ª cubierta. Es requisito de las especificaciones del proyecto hacer un diseño con una acomodación para 45 personas, incluyendo tripulantes y personal a bordo de las plataformas oceánicas.

Los alojamientos vienen definidos por su volumen, que depende por una parte del número de personas y por otra parte el estándar o grado de confort aplicable en el buque en diseño, que se suele medir por los metros cuadrados por tripulante y el tipo de los camarotes y de los aseos, individuales, dobles, etc. Los mínimos están fijados por reglamentos nacionales e internacionales.

Los locales comunes tales como, comedores, gimnasio o salones se sitúan en cubiertas intermedias; por encima se disponen los camarotes de oficiales, más abajo los de máquinas y más arriba los de puente; en orden descendente se sitúan los camarotes de maestranza, los del personal de fonda, los de la tripulación de cubierta y los de la de máquinas.

La cocina, la gambuza seca y la gambuza refrigerada se disponen teniendo presente que es necesario el traslado de pesos y volúmenes importantes entre ellas, y que la recepción de alimentos para ambas gambuzas debe ser lo más cómoda posible. La gambuza refrigerada se divide en varias cámaras con distintas temperaturas para la conservación de los distintos tipos de alimentos. Es conveniente evitar que la gambuza refrigerada esté bajo superficies a la intemperie, lo que obligaría a aumentar el aislamiento y las capacidades de enfriamiento.

Los locales de navegación, puente de gobierno y derrota se sitúan en la parte de proa de la Cubierta Puente, estando por lo tanto en una posición elevada del buque proyecto. En estos locales se disponen todos los paneles centrales de detección y de alarmas contraincendios y de seguridad. Los costados del puente de gobierno llegan hasta la manga máxima del buque y permiten al práctico, o al oficial encargado de las maniobras circular de una banda a otra del buque, para lo que no debe existir ningún obstáculo en el camino.

Para la acomodación de las 45 personas que requieren las especificaciones se han dispuesto un total de 27 camarotes por encima de la 2ª cubierta, siendo cuatro los tipos de camarotes: camarotes con capacidad para 4 personas, camarotes para 2 personas, camarotes individuales y camarotes superiores. En la siguiente tabla se indica la distribución de los camarotes en las distintas cubiertas de la zona de habilitación:

ESQUEMA DE CAMAROTES	Camarote superior	Camarote individual	Camarote 2 personas	Camarote 4 personas	TOTALES
<b>CUBIERTA-D</b>	3 pers	-	-	-	3 pers
<b>CUBIERTA-C</b>	-	9 pers	-	-	9 pers
<b>CUBIERTA-B</b>	-	3 pers	18 pers	4 pers	25 pers
<b>CUBIERTA-A</b>	-	-	-	-	-
<b>1ª CUBIERTA</b>	-	-	-	8 pers	8 pers
<b>TOTALES</b>	3 pers	12 pers	18 pers	12 pers	<b>45 pers</b>

Tabla 2. Esquema de los camarotes en la zona de la habilitación

Por otro lado, la tripulación mínima estará compuesta por:

PUESTO	NÚMERO
Capitán	1
1 <sup>er</sup> Oficial	1
2º Oficial	1
Contramaestre	1
Timoneles	3
1 <sup>er</sup> Oficial de máquinas	1
2º Oficial de máquinas	1
3 <sup>er</sup> Oficial de máquinas	1
Operador de grúas	3
Gambucero	1
Fontanero	1
Electricista	1
Cocinero	1
Ayudante del cocinero	1
Camarero	1
Personal sanitario	1
Personal especial plataforma	25
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>

Tabla 3. Tripulación mínima del buque proyecto

### 3.6. Zonas de amarre y fondeo. Local del servo

Los equipos principales de amarre y fondeo del buque se sitúan en la proa del buque, mientras que el llamado local del servo es el local de los propulsores principales tipo POD situados en la popa del barco.

El sistema de fondeo y amarre, que será definido en el cuaderno 8, *Equipos y servicios*, permite al buque mantener su posición sin necesidad de los propulsores, ante las condiciones ambientales de viento, corriente y olas. El sistema de fondeo con anclas se sitúa en la proa del barco, en la cubierta B. A partir del Numeral del Equipo, calculado según las prescripciones de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register, se podrán dimensionar y elegir los equipos necesarios para el fin deseado. Por otro lado, el sistema de amarre deberá cumplir también con los requisitos de Lloyd's Register para

este tipo de buques y deberá equiparse, por lo tanto, con el material necesario, que irá dispuesto en los costados del buque proyecto de forma apropiada.

Las especificaciones del proyecto exigen la instalación de un sistema de propulsión diesel-eléctrica, con lo cual, los propulsores del buque irán accionados por motores eléctricos que tomarán la energía eléctrica necesaria de los grupos electrógenos principales. En el cuaderno 6, *Cálculo de potencia y proyecto de propulsores*, se detallará la elección del sistema de propulsión del buque proyecto, que se adelanta ahora que será mediante dos propulsores tipo POD. Esto implica la no existencia de timones, debido a que este tipo de unidad de propulsión es totalmente orientable 360° y la maniobrabilidad es excelente. Por lo tanto, en el local en el que debiera ir el servomotor o los servomotores del buque proyecto para accionar los timones, se dispondrán los equipos necesarios para la operación con los propulsores tipo POD.

#### **4. Disposición de tanques**

Como se dijo antes, los mamparos de los tanques deben coincidir con refuerzos primarios. Además, todos los tanques del buque proyecto deben disponerse cumpliendo con la reglamentación del Convenio MARPOL y del Convenio SOLAS.

Con la disposición finalmente elegida, se debe poder conseguir que las distintas situaciones de carga den lugar a las posiciones de equilibrio deseadas (calado y trimado adecuados) y cumpliendo con los requerimientos de la normativa referente a la estabilidad estática y dinámica y a la estabilidad en averías. La mayoría de los tanques del buque se han dispuesto de forma simétrica, con el fin de asegurar un centro de gravedad alineado con el plano e crujía. El análisis para el buque proyecto de estos aspectos se realizará en el cuaderno 12, *Situaciones de carga y resistencia longitudinal*.

Los diferentes tanques que se instalan en el buque proyecto son:

- *Tanques de lastre y estabilidad*. Se han dispuesto en los costados y el doble fondo del buque, con el fin de mantener al buque en una posición de equilibrio además de proteger la integridad del buque.
- *Tanques vacíos o cofferdams*. Se instalan para separar los tanques que contengan agua dulce para el consumo humano de los tanques que contienen sustancias peligrosas para la salud, como combustible o aceite. Estos espacios vacíos también se disponen para separar los tanques de combustible del casco del buque, tal como indican los requerimientos de la normativa vigente, con el fin de evitar la contaminación marina en caso de avería.
- *Tanques de servicio*. Son los tanques donde se ubican los distintos tipos de consumos del buque. Los principales son



tanques almacén de combustible MDF, almacén de aceite lubricante, agua dulce, tanques de sedimentación y de servicio diario de combustible y aceite y aguas residuales. Los tanques sucios deben ir en el doble fondo de la cámara de máquinas. Estos tanques son: tanque de sentinas, tanque de aceite sucio, tanque de aguas aceitosas y tanque de lodos.

- *Tanques de carga.* Son los tanques donde se disponen los distintos tipos de carga necesarios para las operaciones de trabajo del buque con las plataformas offshore. Las diferentes cargas a bordo son:
  - *Combustible disel, MDO.* El combustible requerido por las plataformas para suministro de energía.
  - *Caja de cadenas de la plataforma.* Al ser el buque proyecto AHTS (Anchor Handling Tug Supply), destinado al manejo de las anclas de fondeo de las plataformas oceánicas, se disponen espacios especiales para el almacén de las cadenas de dichas anclas.
  - *Liquid mud.* Durante la perforación es necesario evacuar los trozos de roca que se va perforando para evitar que el tricono se bloquee. Para ello se introduce a través del interior del varillaje lo que se denomina lodo de perforación, una fase líquida con sólidos en suspensión que sirve como refrigerante de las piezas del tricono además de un medio de evacuación de la roca perforada.
  - *Carga seca.* Se refiere a cargamentos sólidos a granel almacenados en tanques especiales como cemento o barita (que se emplean para densificar los lodos de perforación) o bentonita (granel más ligero que mantiene productos químicos en solución). El cemento se emplea también para asegurar los tubos de acero que forman el pozo.
  - *Salmuera.* El agua salada concentrada se emplea para crear soluciones salinas para bombeo de los pozos cuanto el sustrato es sal. La sal se disuelve fácilmente en los fluidos de perforación y la salmuera se puede emplear como solución que refuerza los muros del pozo para evitar su colapso.
  - *Agua dulce.* Habitualmente se almacena en tanques bajo la cubierta principal y es requerida para la tripulación (servicios sanitarios) y equipos consumidores a bordo de las instalaciones offshore.
  - *Metanol.* Se emplean productos químicos como metanol para evitar la formación de hidratos.

En el caso de los tanques de combustible, el Convenio MARPOL indica lo siguiente:

*“En el caso de los buques cuya capacidad total de combustible líquido sea igual o superior a 600 m<sup>3</sup> pero inferior a 5000 m<sup>3</sup>, los tanques de combustible líquido irán dispuestos por dentro de la línea de trazado de las planchas del forro del costado, y en ningún caso a menos de la distancia  $w$  medida, como se ilustra en la figura 2, en cualquier sección transversal perpendicularmente al forro del costado, como se indica a continuación”:*

$$w = 0,4 + 2,4 \cdot \frac{C}{20000}$$

*valor mínimo de  $w = 1,0$  m; no obstante, para los tanques con una capacidad de combustible líquido inferior a 500 m<sup>3</sup>, el valor mínimo es 0,76 m.*

*$C$  es el volumen total de combustible líquido.*

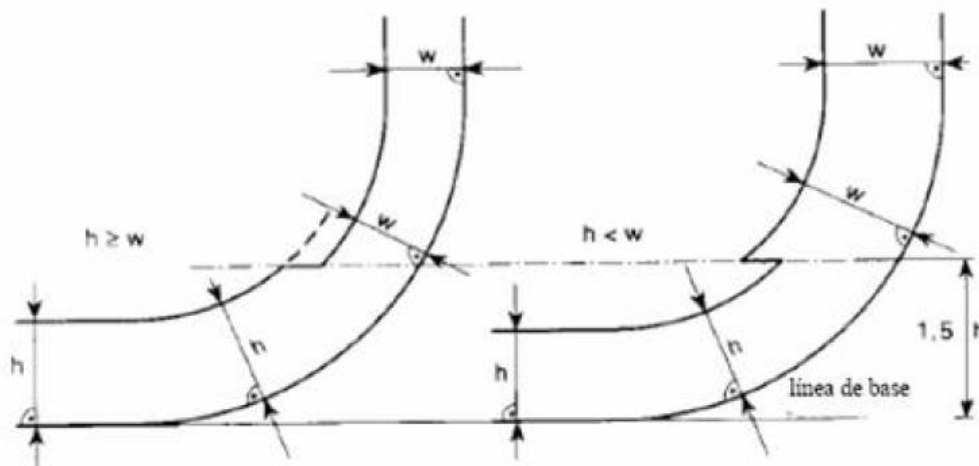


Figura 2. Definición de los límites de los tanques de combustible líquido a efectos de lo indicado en MARPOL

El volumen total de combustible que será necesario llevar en el buque proyecto se calculará en el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*. Se adelanta que, finalmente, el combustible líquido necesario serán 1400 m<sup>3</sup>.

La separación mínima entre los tanques de combustible y los costados del buque proyecto deberá ser de:

$$w = 0,4 + 2,4 \cdot \frac{C}{20000} = 0,4 + 2,4 \cdot \frac{1400\text{m}^3}{20000} = 0,568\text{m} < 0,76\text{m}$$

Por lo tanto, ya que no se instalan tanques con una capacidad de combustible líquido superior a 500 m<sup>3</sup>, el valor mínimo de la distancia entre tanque y casco es de 0,76 m.

## **5. Plano de disposición general**

Se presenta en un anexo el plano de la disposición general, incluyendo perfil longitudinal, cubiertas y secciones transversales significativas.



## **6. Bibliografía general**

### **6.1. Bibliografía básica**

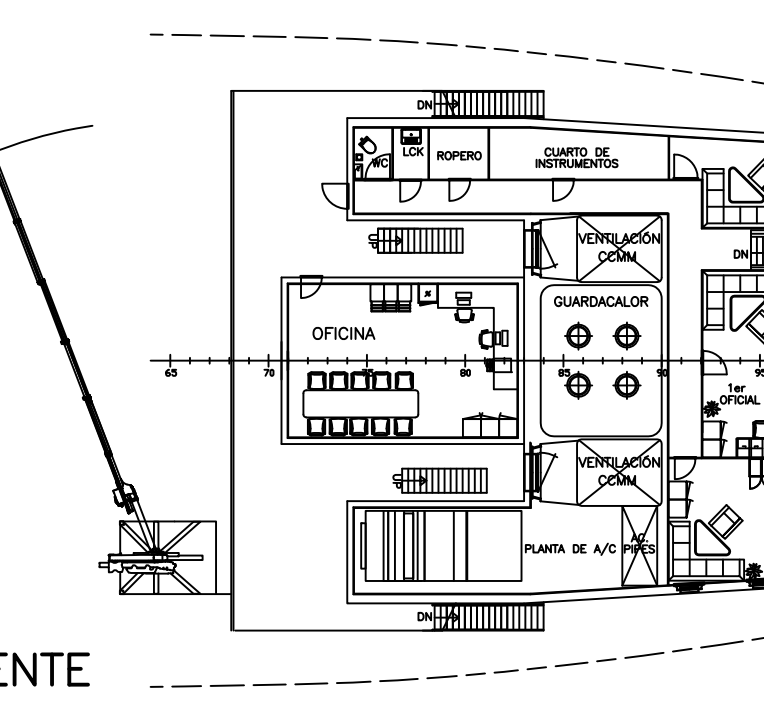
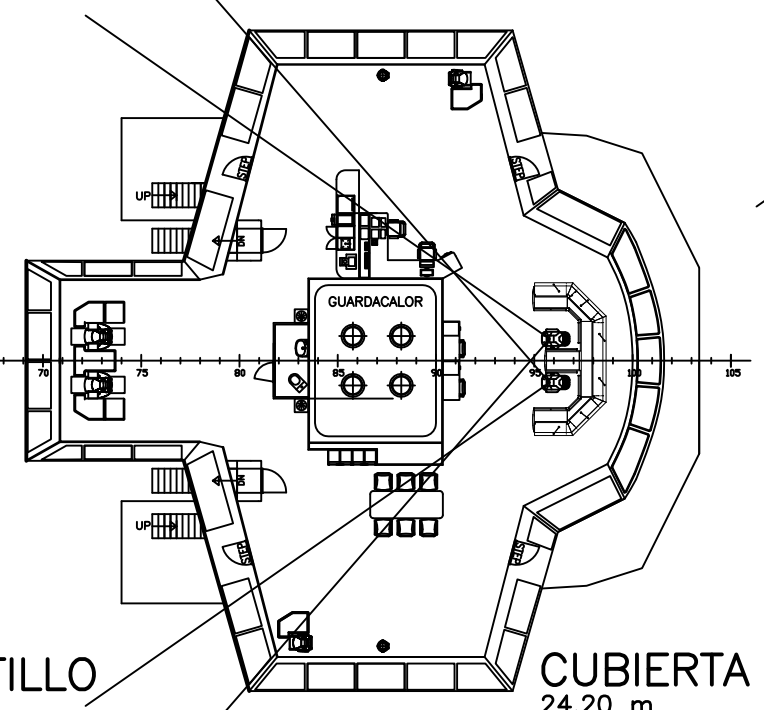
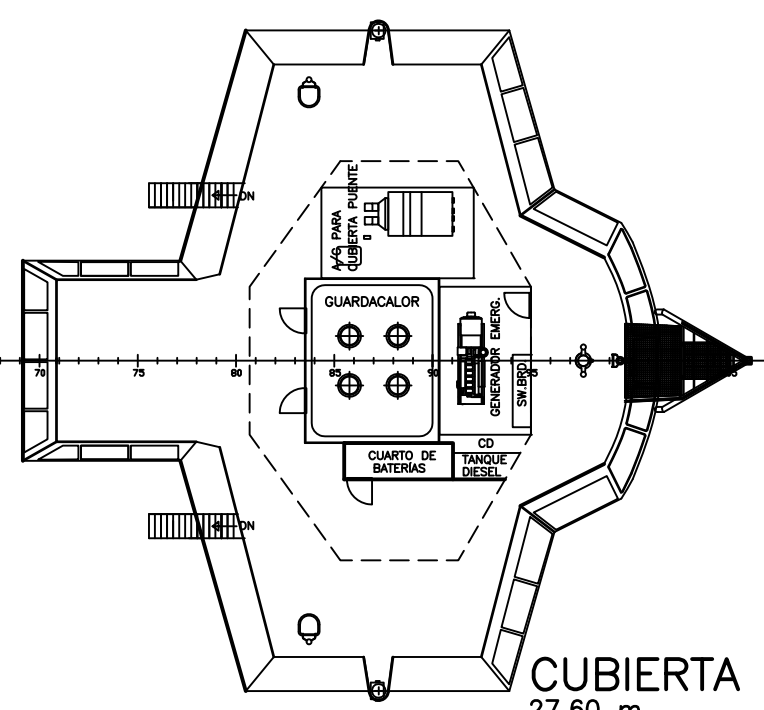
- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [3] Convenio SOLAS.
- [4] *Convenio MARPOL*. OMI.
- [5] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.
- [6] *Protocolo de 1988 relativo al Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966*. OMI.
- [7] Luis Pérez Rojas. *Sobre los buques de suministro*. ETSIN.

### **6.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Viking Supply Ships. [Web en línea]. The Fleet <> <http://www.vikingsupply.com/>

## **7. ANEXO I – Plano de disposición general**





## ESQUEMA DE CAMAROTES

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA MÁXIMA, Loo	85,00 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES, lpp	81,46 m
MANGA, B	21,70 m
CALADO DE DISEÑO, T	7,70 m
ALTURA A 1ª CUBIERTA	9,40 m
PESO MUERTO	4500 TPM
CLARA ENTRE CUADERNAS:	
	650 mm



**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 5**

**Cálculos de Arquitectura Naval**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Tabla de hidrostáticas .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Estabilidad transversal .....</b>	<b>35</b>
3.1. Estabilidad transversal inicial.....	35
3.2. Estabilidad transversal a grandes ángulos. Carenas inclinadas .....	37
<b>4. Tabla y plano de capacidades y c. de g. de espacios, con resúmenes por tipo de contenido .....</b>	<b>40</b>
4.1. Tanques de lastre y estabilidad.....	41
4.2. Tanques almacén de combustible.....	42
4.3. Tanques almacén de aceite lubricante .....	43
4.4. Tanques sucios .....	43
4.5. Tanques de aguas residuales.....	43
4.6. Tanques de agua dulce .....	44
4.7. Tanques de servicio .....	44
4.8. Tanques de carga.....	45
<b>5. Situaciones de carga preliminares.....</b>	<b>46</b>
<b>6. Esloras inundables si lo requieren los reglamentos.....</b>	<b>46</b>
<b>7. Cálculos del francobordo y del arqueo .....</b>	<b>47</b>
7.1. Francobordo .....	47
7.1.1. Francobordo tabular .....	48
7.1.2. Corrección por eslora menor de 100 metros .....	49
7.1.3. Corrección por coeficiente de bloque.....	49
7.1.4. Corrección por puntal.....	49
7.1.5. Corrección por superestructuras.....	49
7.1.6. Corrección por el arrufo .....	50
7.1.7. Francobordo total .....	51
7.1.8. Altura mínima en proa .....	52
7.2. Arqueo.....	53
7.2.1. Arqueo bruto .....	54
7.2.2. Arqueo neto.....	54
<b>8. Bibliografía general .....</b>	<b>56</b>
8.1. Bibliografía básica.....	56
8.2. Bibliografía complementaria .....	56



## **Figuras**

Figura 1. Estabilidad inicial.....	35
Figura 2. Estabilidad a grandes ángulos .....	37
Figura 3. Disposición de tanques del buque proyecto en el programa Maxsurf .....	40
Figura 4. Reserva de flotabilidad.....	53

## **Gráficos**

Gráfico 1. Curvas hidrostáticas para trimado 0 .....	9
Gráfico 2. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 0 .....	10
Gráfico 3. Curvas hidrostáticas para trimado 0,5 .....	13
Gráfico 4. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 0,5 .....	14
Gráfico 5. Curvas hidrostáticas para trimado 1 .....	17
Gráfico 6. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 1 .....	18
Gráfico 7. Curvas hidrostáticas para trimado 1,5 .....	21
Gráfico 8. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 1,5 .....	22
Gráfico 9. Curvas hidrostáticas para trimado -0,5 .....	25
Gráfico 10. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -0,5.....	26
Gráfico 11. Curvas hidrostáticas para trimado -1 .....	29
Gráfico 12. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -1 .....	30
Gráfico 13. Curvas hidrostáticas para trimado -1,5 .....	33
Gráfico 14. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -1,5.....	34
Gráfico 15. Curva de estabilidad inicial a pequeños ángulos.....	36
Gráfico 16. Curvas KN para trimado nulo .....	38
Gráfico 17. Curvas KN para el desplazamiento de proyecto, 8482t .....	39
Gráfico 18. Análisis de esloras inundables del buque proyecto mediante Maxsurf.....	47

## **Tablas**

Tabla 1. Características hidrostáticas del casco para $T=7,70m$ .....	5
Tabla 2. Curvas hidrostáticas para trimado 0 .....	7
Tabla 3. Curvas hidrostáticas para trimado 0,5 .....	11
Tabla 4. Curvas hidrostáticas para trimado 1 .....	15
Tabla 5. Curvas hidrostáticas para trimado 1,5 .....	19
Tabla 6. Curvas hidrostáticas para trimado -0,5 .....	23
Tabla 7. Curvas hidrostáticas para trimado -1 .....	27
Tabla 8. Curvas hidrostáticas para trimado -1,5 .....	31
Tabla 9. Valores de GZ y par adrizante a pequeños ángulos .....	36
Tabla 10. Valor de las curvas KN para cada desplazamiento .....	38
Tabla 11. Valores de las carenas inclinadas para el desplazamiento de proyecto, 8482 toneladas .....	39
Tabla 12. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de lastre.....	41
Tabla 13. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de combustible.....	42
Tabla 14. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de aceite lubricante .....	43
Tabla 15. Capacidad y centro de gravedad de los tanques sucios .....	43
Tabla 16. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de aguas residuales .....	43
Tabla 17. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de agua dulce .....	44
Tabla 18. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de servicio.....	44
Tabla 19. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de carga.....	45
Tabla 20. Francobordo tabular.....	48
Tabla 21. Corrección por superestructuras .....	50
Tabla 22. Corrección por arrufo .....	50
Tabla 23. Tabla de francobordos .....	52

## **1. Introducción**

El objetivo de este cuaderno es mostrar los resultados de todos los cálculos de Arquitectura Naval referentes a:

- Curvas hidrostáticas, que reflejan el comportamiento de la carena del buque para distintos calados.
- Curvas de brazos adrizantes, Carenas inclinadas.
- Tabla y plano de capacidades y de centros de gravedad de espacios.
- Situaciones de carga preliminares.
- Cálculos del francobordo y del arqueo.

Para hacer los cálculos hay que apoyarse en la normativa existente, que para el buque proyecto incluye a SOLAS, MARPOL, Lloyd's Register, Convenio Internacional sobre líneas de carga y Convenio sobre arqueo de buque,s ambos de la OMI.

Para elaborar la tabla de las capacidades y centros de gravedad de los tanques, se tuvo que tener en cuenta la espiral de proyecto llevada a cabo al realizar este trabajo, debido a que la disposición general del buque se fue confeccionando hasta derivar en la distribución expuesta en el cuaderno anterior.

## **2. Tabla de hidrostáticas**

Las curvas hidrostáticas representan el comportamiento de la carena del buque para distintos calados, dando una idea de las distintas características de la obra viva para unas condiciones de carga o de trabajo del buque. Las propiedades de estas curvas dependen de las formas, las cuales se definieron en el cuaderno 3.

Para hacer los cálculos se ha empleado el módulo Hydromax del programa Maxsurf. La densidad se ha fijado en  $1,025 \text{ t/m}^3$ , que es la del agua salada, y las características hidrostáticas que se muestran son: desplazamiento, volumen de carena, calado, eslora entre perpendiculares, manga, área de la flotación, superficie mojada, coeficientes adimensionales de la carena (prismático, de bloque, de la maestra y de la flotación), abscisa del centro de carena y del centro de la flotación, altura metacéntrica transversal y longitudinal, toneladas por centímetro de inmersión, momento para trimar un centímetro, etc.

Se parte de las características hidrostáticas del casco para su calado de diseño, siendo este 7,70 m y el trimado nulo:

<b>Hydrostatics at DWL</b>		
Displacement	8481,758	tonne
Volume	8274,885	m <sup>3</sup>
Draft to Baseline	7,7	m
Immersed depth	7,7	m
Lwl	81,502	m
Beam wl	21,7	m
WSA	2289,223	m <sup>2</sup>
Max cross sect area	160,317	m <sup>2</sup>
Waterplane area	1450,33	m <sup>2</sup>
Cp	0,633	
Cb	0,608	
Cm	0,963	
Cwp	0,82	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	38,678	m
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	35,17	m
LCB from zero pt. (+ve fwd) % Lbp	47,457	%
LCF from zero pt. (+ve fwd) % Lbp	43,152	%
KB	4,536	m
KG	0	m
BMt	5,883	m
BMI	74,703	m
GMt	10,419	m
GMI	79,239	m
KMt	10,419	m
KMI	79,239	m

Immersion (TPc)	14,866	tonne/cm
MTc	82,463	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1542,342	tonne.m
Precision	Medium	50 stations

*Tabla 1. Características hidrostáticas del casco para  $T=7,70m$*

Las tablas hidrostáticas, vendrán dadas para 33 calados (de 0m a 10m) por trimado analizado, variando este de +1,5m a -1,5m con saltos de 0,5m pasando por la situación de buque adrizado (trimado nulo). El trimado consiste en la variación del calado de la popa igual a la mitad de la cifra indicada, variando el sentido con el signo. De la misma forma, se producirá una variación contraria en el calado de la proa. Por lo que si se introduce un trimado de +0,5m, la diferencia de calados entre proa y popa será de +0,5m, siendo positivo por estar trimado por popa.

Esto se lleva a cabo para poder conocer el comportamiento del buque para distintas situaciones de calado y trimado. Como se verá en las gráficas, a calados muy pequeños los datos serán inverosímiles, circunstancia obvia pues el buque no está preparado para trabajar en dichas situaciones. Es interesante introducir dichos datos para no romper la continuidad de las curvas y darse cuenta de que todos los parámetros que tienen que ver con el volumen desplazado por el casco, son nulas cuando el calado es nulo. De la misma forma, se observará que las curvas tienen comportamientos extraños para valores altos de calado cercanos a la cubierta principal, como era de esperar.

El sistema de referencia que se emplea está localizado en el buque en la sección media a la altura de la flotación, siendo los valores positivos hacia proa y hacia estribor. El trimado se considerará positivo cuando haya más calado a popa que a proa del buque y viceversa.

A continuación se presentan las tablas y gráficos de las curvas hidrostáticas, las cuales se obtienen mediante el módulo Hydromax del programa Maxsurf mediante el análisis “Upright Hydrostatics”, estableciendo previamente los calados y trimados usando los comandos “Draft...” y “Trim...”. Se comienza con las curvas para trimado 0 y se continua con los siguientes trimados con saldos de 0,5 m.

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	0	115,1	277,1	454,3	655,4	876,1	1115	1373	1651	1947	2262	2596	2948	3320	3712	4124
Heel to Starboard degrees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Draft at AP m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Draft at LCF m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	33,354	43,887	46,258	48,386	50,566	52,761	55,233	57,664	60,214	62,859	65,475	68,07	70,851	73,609	76,345	79,059
WL Beam m	0	16,888	18,257	19,185	19,881	20,424	20,843	21,164	21,399	21,556	21,639	21,659	21,66	21,66	21,66	21,66
Wetted Area m^2	0	457,78	549,27	619,70	691,68	765,86	843,24	921,8	1003,2	1088,3	1174,8	1261,4	1355,0	1449,7	1542,9	1646,8
Waterpl. Area m^2	0	453,46	535,47	599,21	658,74	718,31	778,81	837,90	897,23	957,27	1015,7	1071,6	1132,8	1193,8	1252,0	1319,7
Prismatic Coeff.	0	0,558	0,581	0,576	0,576	0,574	0,569	0,564	0,56	0,555	0,551	0,548	0,543	0,54	0,538	0,536
Block Coeff.	0	0,485	0,512	0,509	0,509	0,508	0,504	0,502	0,5	0,498	0,499	0,5	0,5	0,5	0,501	0,501
Midship Area Coeff.	0	0,877	0,89	0,89	0,89	0,891	0,893	0,896	0,9	0,905	0,912	0,919	0,926	0,932	0,937	0,941
Waterpl. Area Coeff.	0	0,612	0,634	0,645	0,655	0,667	0,676	0,687	0,696	0,706	0,717	0,727	0,738	0,749	0,757	0,771
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	0,114	49,739	49,142	49,066	48,748	48,391	48,002	47,562	47,082	46,557	45,994	45,402	44,772	44,113	43,426	42,718
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	0,114	49,288	48,757	48,275	47,688	46,953	46,073	45,144	44,129	43,023	41,884	40,74	39,461	38,203	37,037	35,659
KB m	0	0,178	0,349	0,521	0,696	0,875	1,056	1,24	1,425	1,613	1,802	1,992	2,184	2,377	2,571	2,767
KG m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMt m	0	62,785	37,088	28,097	23,242	20,217	18,107	16,481	15,154	14,071	13,118	12,256	11,596	11,023	10,492	10,106
BML m	0	438,84	241,70	180,03	149,37	133,13	124,33	118,80	115,90	114,90	114,64	114,62	116,40	118,30	119,58	123,58
GMt m	0	62,963	37,436	28,617	23,938	21,092	19,163	17,72	16,579	15,684	14,92	14,248	13,78	13,399	13,064	12,873
GML m	0	439,02	242,05	180,55	150,06	134,01	125,39	120,04	117,32	116,51	116,44	116,61	118,59	120,68	122,15	126,35
KMt m	0	62,963	37,436	28,617	23,938	21,092	19,163	17,72	16,579	15,684	14,92	14,248	13,78	13,399	13,064	12,873
KML m	0	439,02	242,05	180,55	150,06	134,01	125,39	120,04	117,32	116,51	116,44	116,61	118,59	120,68	122,15	126,35
Immersion (TPc) tonne/cm	0	4,648	5,489	6,142	6,752	7,363	7,983	8,588	9,197	9,812	10,411	10,984	11,611	12,236	12,833	13,527
MTc tonne.m	0	6,199	8,231	10,064	12,068	14,404	17,155	20,228	23,759	27,833	32,322	37,14	42,897	49,16	55,633	63,93
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0	126,45	181,07	226,89	273,82	322,49	372,95	424,74	477,58	532,92	589,11	645,47	709,05	776,41	846,30	926,52
Max deck inclination deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4556	5000	5450	5905	6363	6825	7290	7757	8220	8690	9161	9635	1011	1059	1108	1157	1206
Heel to Starboard degrees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Draft at AP m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Draft at LCF m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	81,38	81,41	81,42	81,43	81,44	81,46	81,47	81,48	81,50	81,50	81,50	81,51	81,53	81,56	81,60	81,64	81,69
WL Beam m	21,66	21,66	21,66	21,67	21,67	21,67	21,68	21,69	21,70	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1742	1806	1868	1928	1988	2047	2107	2166	2172	2224	2276	2330	2384	2441	2497	2559	2625
Waterpl. Area m^2	1377	1397	1412	1424	1435	1444	1452	1458	1463	1468	1474	1482	1493	1507	1521	1537	1555
Prismatic Coeff.	0,537	0,552	0,566	0,58	0,592	0,603	0,613	0,623	0,631	0,639	0,647	0,654	0,661	0,668	0,674	0,68	0,686
Block Coeff.	0,504	0,521	0,536	0,55	0,563	0,575	0,586	0,596	0,605	0,614	0,622	0,63	0,637	0,644	0,651	0,657	0,664
Midship Area Coeff.	0,945	0,948	0,951	0,953	0,956	0,958	0,96	0,961	0,963	0,964	0,966	0,967	0,969	0,97	0,971	0,972	0,972
Waterpl. Area Coeff.	0,781	0,792	0,8	0,807	0,813	0,818	0,822	0,825	0,827	0,83	0,834	0,838	0,844	0,851	0,859	0,868	0,877
LCBfrom zeropt.(+ve fwd)m	41,99	41,33	40,75	40,25	39,82	39,45	39,13	38,85	38,63	38,42	38,24	38,08	37,94	37,83	37,73	37,66	37,60
LCFfrom zeropt.(+ve fwd)m	34,57	34,40	34,33	34,32	34,34	34,40	34,47	34,56	34,72	34,83	34,95	35,11	35,31	35,50	35,78	36,07	36,42
KB m	2,964	3,159	3,35	3,537	3,721	3,903	4,082	4,26	4,434	4,608	4,781	4,953	5,125	5,296	5,468	5,64	5,812
KG m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMt m	9,69	9,14	8,607	8,106	7,641	7,211	6,817	6,457	6,123	5,827	5,562	5,335	5,139	4,975	4,832	4,714	4,62
BML m	124,9	117,3	110,1	103,7	97,76	92,43	87,61	83,24	79,00	75,38	72,12	69,40	67,14	65,48	63,88	62,50	61,36
GMt m	12,65	12,30	11,96	11,64	11,36	11,11	10,90	10,72	10,56	10,44	10,34	10,29	10,26	10,27	10,30	10,35	10,43
GML m	127,8	120,4	113,5	107,2	101,5	96,34	91,70	87,50	83,43	79,99	76,90	74,35	72,27	70,78	69,35	68,14	67,17
KMt m	12,65	12,30	11,96	11,64	11,36	11,11	10,90	10,72	10,56	10,44	10,34	10,29	10,26	10,27	10,30	10,35	10,43
KML m	127,8	120,4	113,5	107,2	101,5	96,34	91,70	87,50	83,43	79,99	76,90	74,35	72,27	70,78	69,35	68,14	67,17
Immersion (TPc) tonne/cm	14,11	14,31	14,47	14,60	14,71	14,80	14,88	14,95	14,99	15,05	15,11	15,19	15,30	15,44	15,59	15,75	15,94
MTc tonne.m	71,45	73,90	75,90	77,65	79,23	80,67	82,01	83,28	84,15	85,29	86,44	87,90	89,65	91,98	94,25	96,69	99,41
RM at 1deg =	1006,	1073,	1137,	1199,	1261,	1323,	1386,	1450,	1514,	1582,	1653,	1729,	1811,	1898,	1990,	2089,	2196,
GMt.Disp.sin(1) tonne.m	184	341	32	866	842	869	627	699	555	615	626	867	085	681	955	926	044
Max deck inclination deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2. Curvas hidrostáticas para trimado 0

9



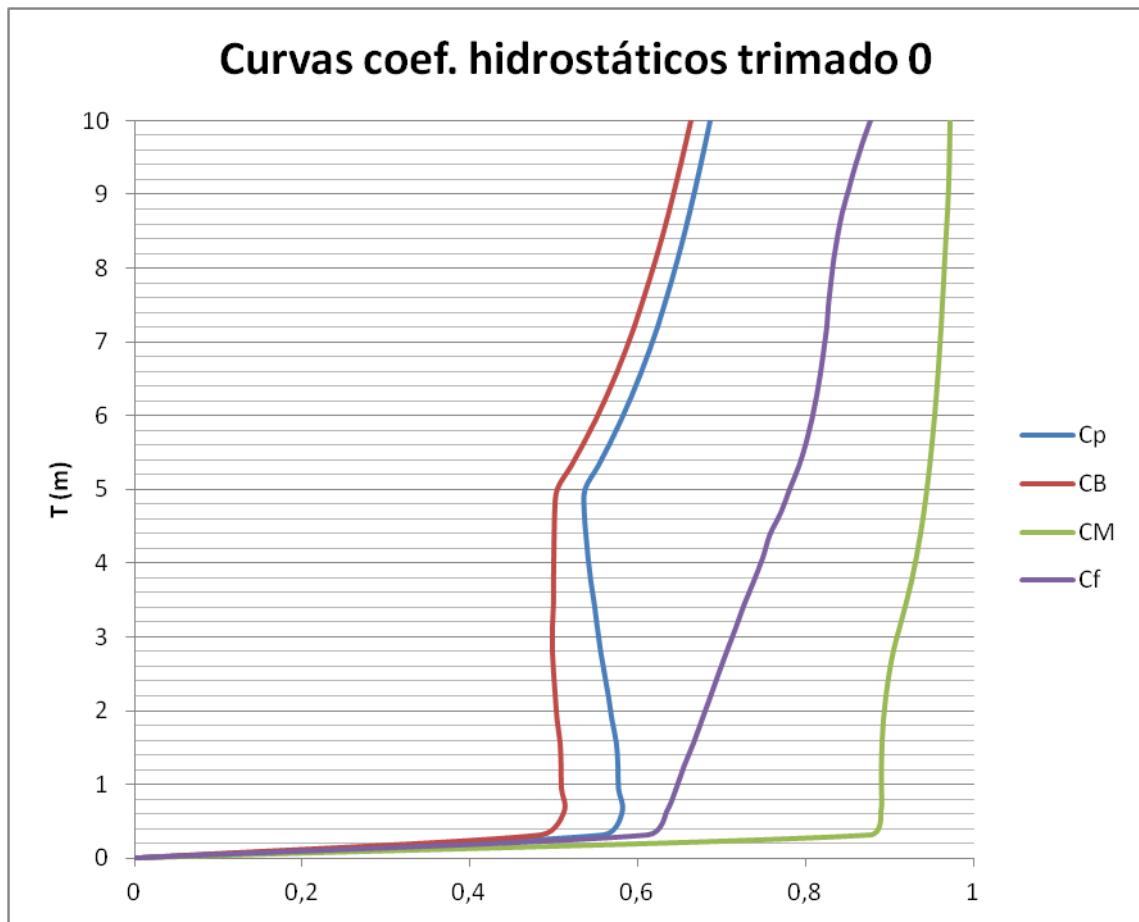


Gráfico 2. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 0

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	0,0	92,4	246,9	426,9	627,6	848,6	1090,0	1351,0	1633,0	1935,0	2257,0	2599,0	2960,0	3343,0	3746,0	4171,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	-0,3	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4
Draft at AP m	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9
Draft at LCF m	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7
Trim (+ve by stern) m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
WL Length m	3,3	43,2	46,0	48,3	50,7	53,1	55,7	58,2	61,1	63,8	66,6	69,5	72,4	75,4	78,3	81,1
WL Beam m	1,4	17,0	18,3	19,2	19,9	20,5	20,9	21,2	21,4	21,6	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	2,9	442,6	533,1	613,5	688,9	764,9	844,8	919,3	1012,5	1101,2	1191,2	1270,6	1381,1	1480,2	1581,8	1681,9
Waterpl. Area m^2	2,9	440,0	525,1	597,0	660,3	721,9	785,4	840,7	912,1	976,2	1038,3	1086,7	1164,6	1229,3	1295,2	1357,9
Prismatic Coeff.	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Block Coeff.	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	39,5	46,7	47,9	48,0	47,9	47,6	47,3	46,9	46,4	45,9	45,3	44,7	44,0	43,3	42,6	41,9
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	39,5	48,5	48,4	47,8	47,2	46,5	45,6	44,8	43,5	42,4	41,2	40,3	38,6	37,2	35,9	34,6
KB m	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	89,3	76,3	40,3	29,9	24,4	21,0	18,7	16,8	15,6	14,5	13,5	12,5	11,9	11,3	10,8	10,3
BML m	186,9	504,6	257,9	189,1	156,2	138,7	129,5	121,5	122,0	121,4	121,5	118,4	124,7	127,1	129,9	132,0
GMt m	89,3	76,5	40,7	30,4	25,1	21,9	19,8	18,1	17,1	16,1	15,3	14,6	14,1	13,7	13,4	13,1
GML m	186,9	504,8	258,3	189,6	156,9	139,6	130,6	122,7	123,4	123,0	123,3	120,4	126,9	129,5	132,5	134,8
KMt m	89,3	76,5	40,7	30,4	25,1	21,9	19,8	18,0	17,0	16,1	15,3	14,5	14,1	13,7	13,4	13,1
KML m	186,9	504,8	258,3	189,6	156,9	139,5	130,6	122,7	123,4	123,0	123,3	120,4	126,9	129,5	132,5	134,8
Immersion (TPc) tonne/cm	0,0	4,5	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,6	9,3	10,0	10,6	11,1	11,9	12,6	13,3	13,9
MTc tonne.m	0,0	5,7	7,8	9,9	12,1	14,5	17,5	20,3	24,7	29,2	34,2	38,4	46,1	53,1	60,9	69,0
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,0	123,4	175,4	226,7	275,5	324,9	376,8	426,1	486,8	545,1	604,2	660,4	730,9	801,8	877,8	957,0
Max deck inclination deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Trim angle (+ve by stern) deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4611, 0	5057, 0	5509, 0	5964, 0	6422, 0	6884, 0	7348, 0	7810, 0	8276, 0	8745, 0	9215, 0	9688, 0	10163, 0	10642, 0	11125, 0	11612, 0	12105, 0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,8
Draft at AP m	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,3
Draft at LCF m	5,0	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0
Trim (+ve by stern) m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
WL Length m	81,4	81,4	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6	81,7
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m <sup>2</sup>	1751, 6	1813, 7	1874, 3	1934, 1	1993, 5	2052, 8	2111, 9	2119, 6	2171, 6	2223, 6	2275, 8	2328, 4	2384,3	2438,7	2498,3	2561,3	2625,8
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1384, 4	1400, 8	1414, 1	1425, 2	1434, 6	1442, 6	1449, 7	1454, 0	1459, 9	1465, 7	1471, 6	1478, 3	1489,6	1500,7	1514,1	1529,2	1546,3
Prismatic Coeff.	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+ve fwd)m	41,1	40,5	40,0	39,6	39,2	38,8	38,6	38,3	38,1	37,9	37,8	37,6	37,5	37,4	37,3	37,3	37,2
LCFfrom zeropt.(+ve fwd)m	34,3	34,2	34,2	34,2	34,2	34,3	34,4	34,5	34,7	34,8	34,9	35,0	35,2	35,4	35,6	35,9	36,2
KB m	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,6	4,8	5,0	5,1	5,3	5,5	5,7	5,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,8	9,2	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,4	6,1	5,8	5,5	5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	4,6
BML m	124,7	116,5	109,2	102,7	96,8	91,4	86,6	82,0	78,1	74,6	71,4	68,5	66,4	64,5	62,9	61,5	60,3
GMt m	12,7	12,3	12,0	11,6	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,4
GML m	127,7	119,7	112,6	106,2	100,5	95,4	90,7	86,3	82,5	79,2	76,1	73,5	71,6	69,8	68,4	67,1	66,1
KMt m	12,7	12,3	12,0	11,6	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,3	10,3	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4
KML m	127,7	119,7	112,6	106,2	100,5	95,4	90,8	86,3	82,5	79,2	76,2	73,5	71,6	69,8	68,4	67,2	66,1
Immersion (TPc) tonne/cm	14,2	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9	14,9	15,0	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,7	15,9
MTc tonne.m	72,2	74,3	76,1	77,7	79,2	80,5	81,8	82,7	83,8	84,9	86,1	87,3	89,2	91,1	93,3	95,7	98,2
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1025, 9	1089, 0	1150, 1	1210, 3	1270, 2	1330, 5	1391, 9	1453, 0	1518, 0	1585, 9	1656, 8	1731, 8	1813,3	1898,6	1989,7	2086,7	2190,6
Max deck inclination deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Trim angle (+ve by stern) deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Tabla 3. Curvas hidrostáticas para trimado 0,5

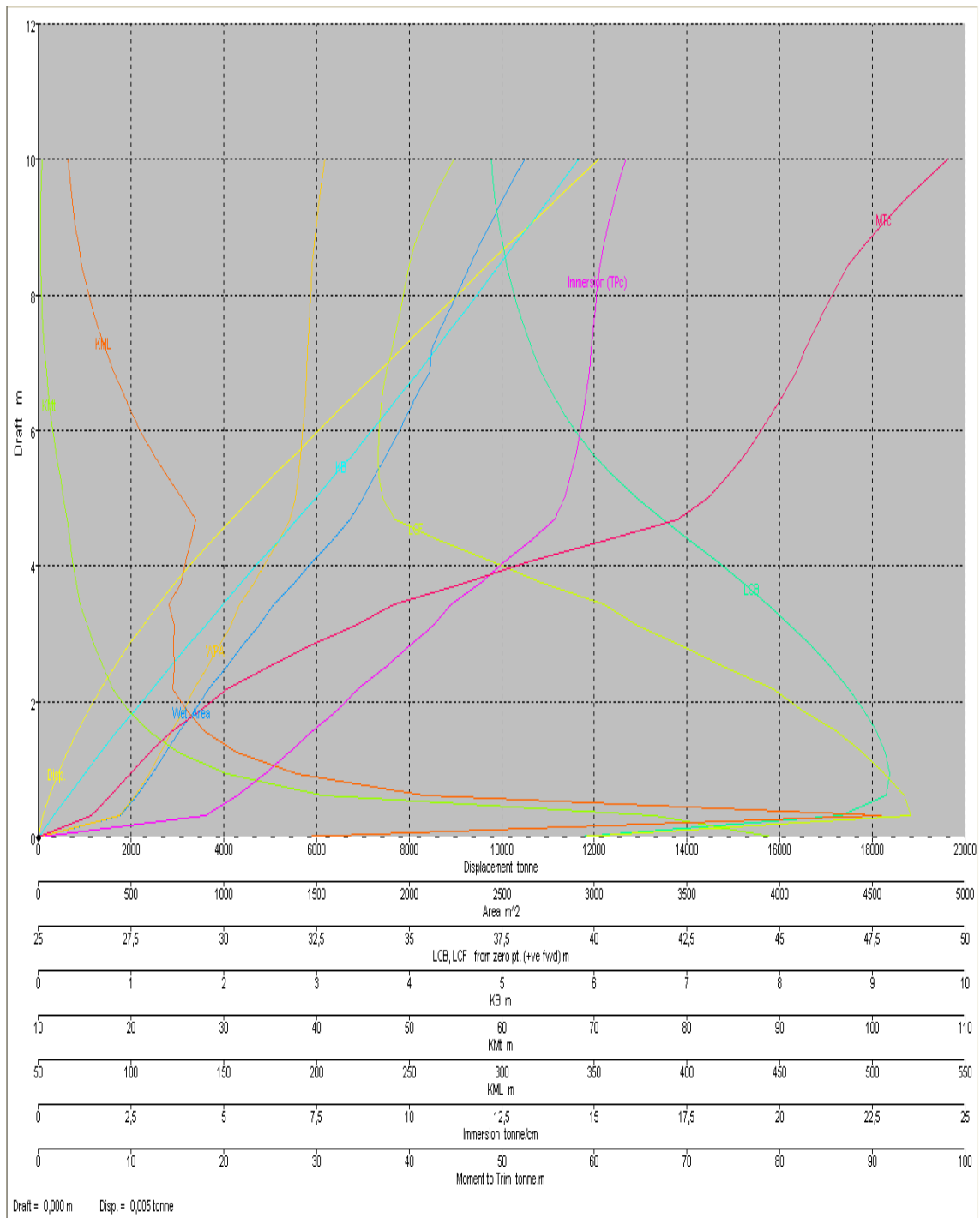


Gráfico 3. Curvas hidrostáticas para trimado 0,5

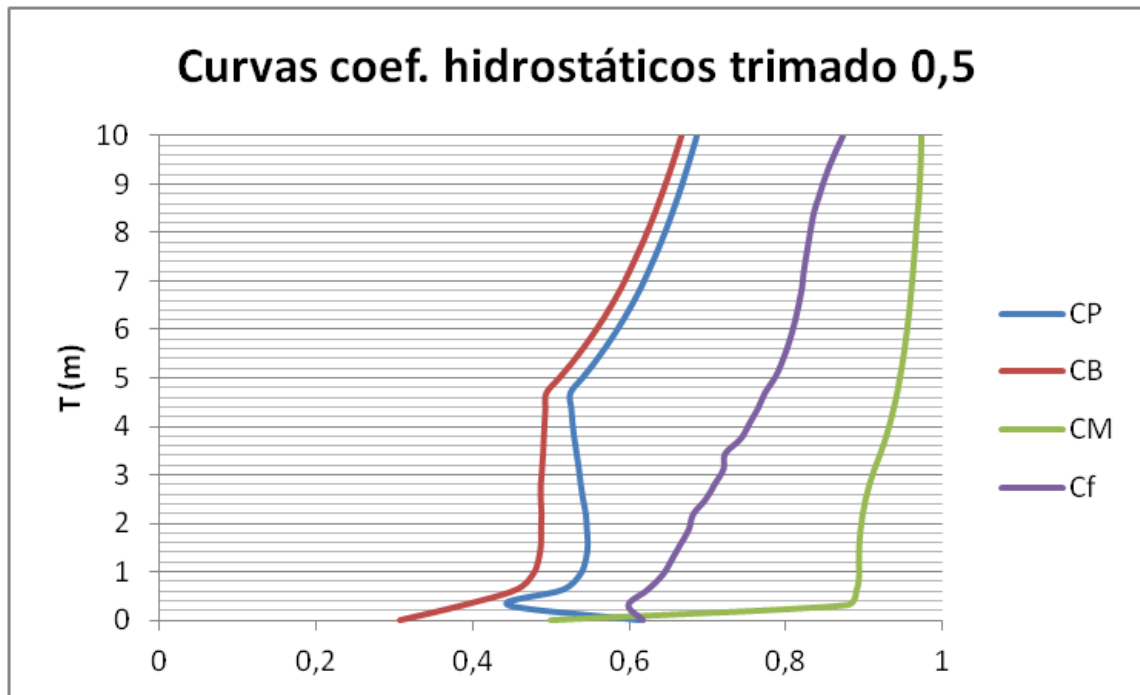


Gráfico 4. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 0,5

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	0,2	74,3	223,0	401,3	601,7	823,6	1067,0	1332,0	1619,0	1927,0	2256,0	2607,0	2980,0	3374,0	3791,0	4226,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2
Draft at AP m	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2
Draft at LCF m	0,0	0,2	0,5	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8
Trim (+ve by stern) m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
WL Length m	4,7	33,1	45,5	48,2	50,8	53,4	56,2	59,0	62,0	64,9	67,9	71,1	74,2	77,3	80,4	81,3
WL Beam m	7,3	17,1	18,4	19,3	20,0	20,5	20,9	21,2	21,4	21,6	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	19,5	394,5	524,0	607,3	686,4	766,9	850,6	936,0	1026,2	1118,1	1211,2	1310,9	1411,8	1509,7	1620,9	1696,9
Waterpl. Area m^2	19,6	392,7	518,5	594,5	661,9	728,6	796,0	862,9	931,7	999,2	1063,9	1132,9	1200,7	1263,2	1338,2	1372,1
Prismatic Coeff.	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Block Coeff.	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	38,1	43,0	46,1	46,8	46,9	46,8	46,5	46,1	45,6	45,1	44,5	43,9	43,2	42,5	41,7	40,9
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	38,2	46,1	47,7	47,3	46,7	46,0	45,0	44,0	42,8	41,6	40,4	39,0	37,6	36,3	34,7	34,2
KB m	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	442,0	91,6	44,6	31,8	25,7	22,0	19,5	17,6	16,2	15,0	13,9	13,1	12,3	11,6	11,1	10,5
BML m	133,3	375,3	273,6	197,7	163,1	145,6	136,4	131,3	129,7	129,3	129,3	131,8	134,3	135,3	140,3	133,4
GMt m	442,0	91,8	44,9	32,3	26,4	22,9	20,6	18,9	17,7	16,7	15,8	15,1	14,5	14,0	13,7	13,3
GML m	133,3	375,5	274,0	198,3	163,8	146,5	137,5	132,6	131,1	131,0	131,2	133,9	136,6	137,7	142,9	136,3
KMt m	442,1	91,7	44,9	32,3	26,3	22,8	20,5	18,9	17,6	16,6	15,7	15,1	14,5	14,0	13,7	13,3
KML m	133,3	375,5	273,9	198,2	163,8	146,4	137,4	132,5	131,1	130,9	131,2	133,9	136,5	137,7	142,9	136,3
Immersion (TPc) tonne/cm	0,2	4,0	5,3	6,1	6,8	7,5	8,2	8,8	9,6	10,2	10,9	11,6	12,3	12,9	13,7	14,1
MTc tonne.m	0,0	3,4	7,5	9,8	12,1	14,8	18,0	21,7	26,0	31,0	36,3	42,8	49,9	57,0	66,5	70,7
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1,2	119,0	174,9	226,5	277,2	329,2	383,8	439,9	499,2	560,1	621,3	686,9	755,9	826,9	909,4	980,1
Max deck inclination deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Trim angle (+ve by stern) deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4669, 0	5116, 0	5568, 0	6024, 0	6483, 0	6944, 0	7403, 0	7867, 0	8333, 0	8800, 0	9270, 0	9742, 0	10216, 0	10694, 0	11174, 0	11660, 0	12149, 0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,5	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5
Draft at AP m	5,5	5,8	6,1	6,4	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5
Draft at LCF m	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,1
Trim (+ve by stern) m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
WL Length m	81,3	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6	81,6
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1759, 5	1820, 4	1880, 4	1939, 8	1999, 0	2058, 1	2067, 2	2119, 1	2171, 1	2223, 1	2275, 3	2329, 6	2382,9	2440,1	2501,4	2563,8	2627,5
Waterpl. Area m^2	1389, 7	1403, 9	1415, 6	1425, 5	1433, 9	1441, 2	1445, 7	1451, 5	1457, 3	1463, 2	1469, 0	1477, 1	1485,2	1495,7	1507,8	1521,9	1538,1
Prismatic Coeff.	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+vefwd)m	40,3	39,7	39,3	38,9	38,5	38,2	38,0	37,8	37,6	37,5	37,3	37,2	37,1	37,0	36,9	36,9	36,9
LCFfromzeropt.(+vefwd)m	34,1	34,0	34,0	34,1	34,1	34,2	34,4	34,5	34,6	34,7	34,8	34,9	35,1	35,2	35,5	35,8	36,1
KB m	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,1	4,3	4,5	4,7	4,8	5,0	5,2	5,3	5,5	5,7	5,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,8	9,1	8,6	8,0	7,5	7,1	6,7	6,3	6,0	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5
BML m	124,0	115,6	108,1	101,6	95,7	90,4	85,3	81,0	77,2	73,7	70,6	68,0	65,6	63,6	61,9	60,5	59,3
GMt m	12,8	12,3	11,9	11,6	11,3	11,0	10,8	10,6	10,5	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3
GML m	127,0	118,8	111,5	105,1	99,4	94,3	89,4	85,3	81,6	78,4	75,4	73,0	70,7	68,9	67,4	66,2	65,1
KMt m	12,8	12,4	12,0	11,6	11,3	11,1	10,8	10,6	10,5	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,4
KML m	127,0	118,8	111,6	105,2	99,4	94,3	89,5	85,4	81,7	78,4	75,4	73,0	70,8	68,9	67,4	66,2	65,2
Immersion (TPc) tonne/cm	14,2	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,8	14,9	14,9	15,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,5	15,6	15,8
MTc tonne.m	72,7	74,6	76,2	77,7	79,1	80,4	81,2	82,3	83,5	84,6	85,8	87,3	88,6	90,4	92,4	94,6	97,1
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1042, 5	1102, 4	1161, 0	1219, 0	1277, 0	1335, 9	1394, 2	1456, 2	1521, 1	1588, 8	1659, 6	1734, 8	1814,3	1898,9	1988,5	2083,9	2185,9
Max deck inclination deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Trim angle (+ve by stern) deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Tabla 4. Curvas hidrostáticas para trimado 1

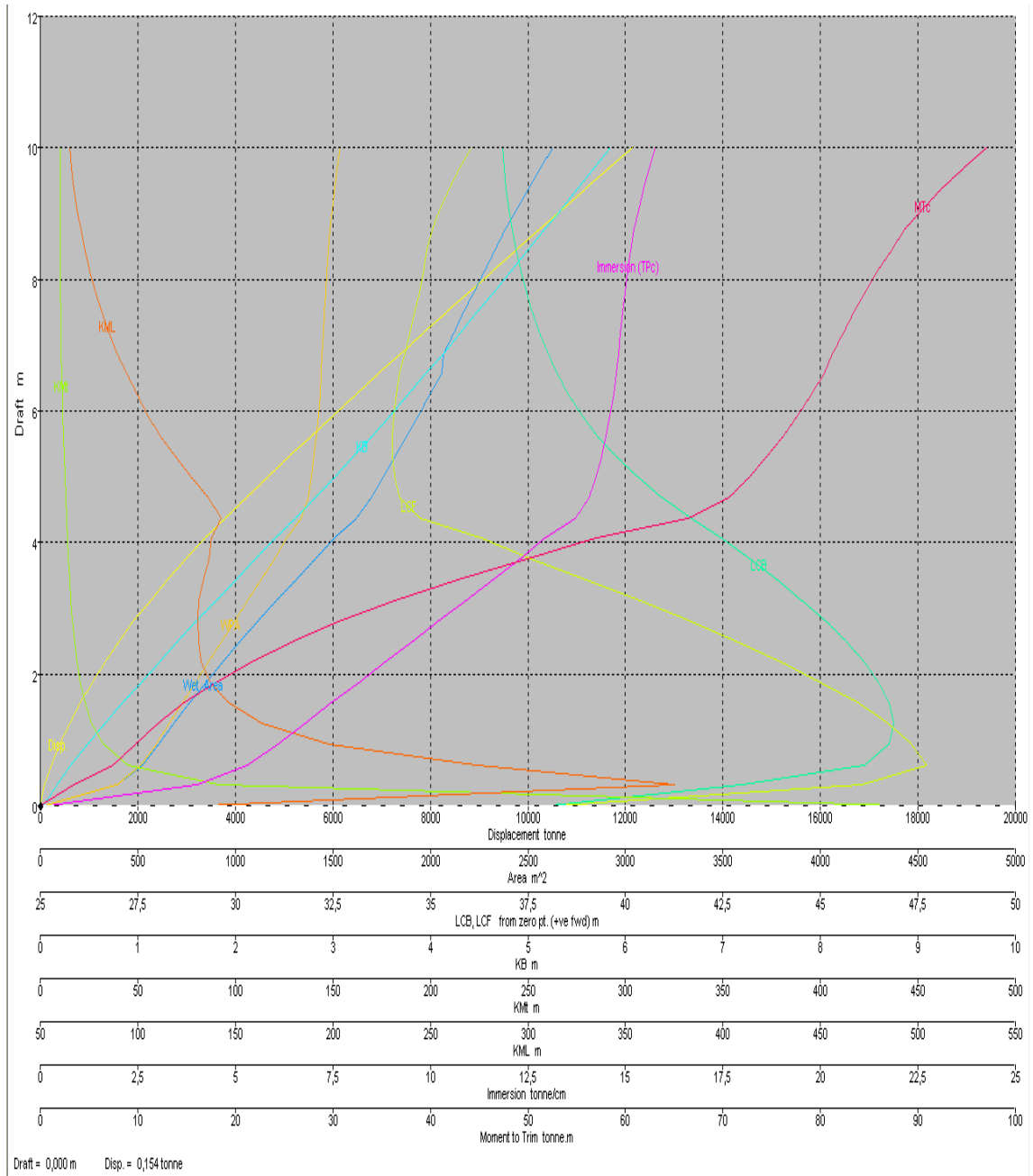


Gráfico 5. Curvas hidroestáticas para trimado 1



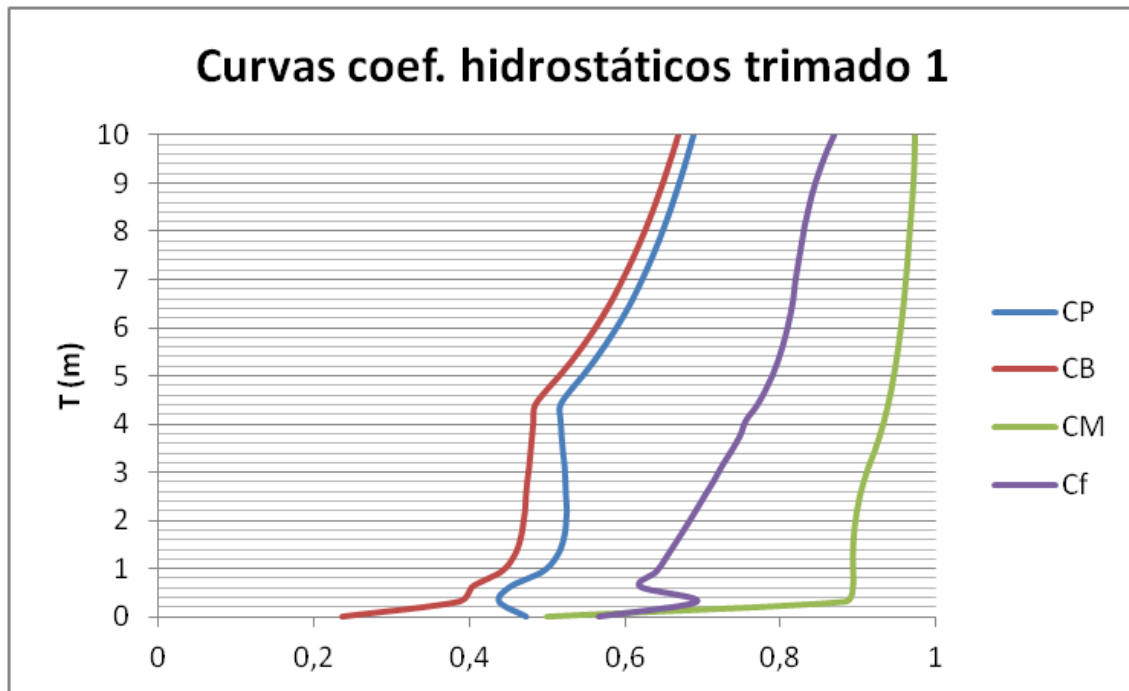


Gráfico 6. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 1

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	0,9	66,5	201,7	377,9	577,9	800,9	1047,0	1316,0	1608,0	1923,0	2261,0	2623,0	3008,0	3416,0	3845,0	4284,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	-0,8	-0,4	-0,1	0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9
Draft at AP m	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4
Draft at LCF m	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,5	4,8
Trim (+ve by stern) m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
WL Length m	5,5	24,9	43,6	48,0	50,8	53,8	56,7	59,8	63,0	66,2	69,5	72,8	76,2	79,5	81,1	81,2
WL Beam m	14,4	17,2	18,5	19,3	20,0	20,5	20,9	21,2	21,4	21,6	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	46,6	329,5	511,2	582,3	684,5	769,8	856,9	947,7	1040,8	1137,0	1236,5	1335,5	1447,4	1555,8	1642,0	1705,4
Waterpl. Area m^2	47,1	327,8	507,6	570,8	663,9	736,1	807,4	879,9	950,9	1023,1	1094,5	1162,0	1240,4	1313,7	1359,7	1378,7
Prismatic Coeff.	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Block Coeff.	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	37,5	41,0	44,2	45,5	45,9	45,9	45,7	45,3	44,9	44,3	43,7	43,0	42,3	41,5	40,7	40,0
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	37,7	43,1	46,9	47,4	46,2	45,4	44,4	43,3	42,1	40,8	39,5	38,1	36,5	35,0	34,1	34,0
KB m	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	748,7	96,2	48,9	32,7	26,9	23,0	20,3	18,3	16,7	15,5	14,4	13,4	12,7	12,0	11,3	10,5
BML m	73,0	200,0	278,1	188,9	170,0	152,8	143,4	139,3	137,3	137,5	138,9	139,9	145,1	148,7	143,8	132,8
GMt m	748,7	96,3	49,3	33,3	27,7	23,9	21,4	19,6	18,2	17,2	16,2	15,4	14,9	14,5	13,9	13,3
GML m	73,0	200,2	278,5	189,5	170,7	153,7	144,6	140,6	138,8	139,2	140,7	142,0	147,4	151,1	146,5	135,6
KMt m	748,7	96,3	49,2	33,2	27,6	23,8	21,3	19,5	18,1	17,1	16,2	15,4	14,9	14,4	13,9	13,4
KML m	73,1	200,2	278,4	189,4	170,6	153,6	144,5	140,5	138,7	139,1	140,7	142,0	147,3	151,1	146,5	135,6
Immersion (TPc) tonne/cm	0,5	3,4	5,2	5,9	6,8	7,5	8,3	9,0	9,7	10,5	11,2	11,9	12,7	13,5	13,9	14,1
MTc tonne.m	0,0	1,6	6,9	8,8	12,1	15,1	18,6	22,7	27,4	32,9	39,1	45,7	54,4	63,3	69,1	71,3
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	11,9	111,9	173,6	219,7	279,2	334,0	391,1	450,2	511,3	575,8	641,2	706,8	783,7	862,2	935,8	997,8
Max deck inclination deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4728,0	5177,0	5630,0	6085,0	6544,0	7000,0	7461,0	7925,0	8390,0	8856,0	9325,0	9797,0	10270,0	10746,0	11225,0	11708,0	12196,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3
Draft at AP m	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,8
Draft at LCF m	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1
Trim (+ve by stern) m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
WL Length m	81,3	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1766,7	1826,8	1886,3	1945,4	2004,5	2014,9	2066,8	2118,7	2170,7	2222,7	2276,8	2329,1	2383,6	2443,9	2504,8	2566,7	2629,7
Waterpl. Area m^2	1393,7	1406,0	1416,3	1425,1	1432,7	1437,3	1443,2	1449,0	1454,8	1460,7	1468,5	1474,4	1481,9	1490,9	1502,0	1515,1	1530,4
Prismatic Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+ve fwd)m	39,5	39,0	38,6	38,2	37,9	37,7	37,5	37,3	37,1	37,0	36,9	36,8	36,7	36,6	36,6	36,5	36,5
LCFfrom zeropt(+ve fwd)m	33,9	33,9	33,9	33,9	34,0	34,2	34,3	34,4	34,5	34,7	34,7	34,8	35,0	35,1	35,3	35,6	35,9
KB m	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,3	4,5	4,7	4,9	5,0	5,2	5,4	5,5	5,7	5,9
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5	7,0	6,6	6,3	6,0	5,7	5,4	5,2	5,0	4,8	4,7	4,6	4,5
BML m	123,0	114,4	107,0	100,4	94,5	89,0	84,3	80,1	76,3	72,9	70,2	67,4	64,9	62,8	61,0	59,6	58,4
GMt m	12,8	12,3	11,9	11,5	11,2	11,0	10,7	10,6	10,4	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,1	10,2	10,3
GML m	126,0	117,7	110,4	104,0	98,3	92,9	88,4	84,4	80,8	77,6	74,9	72,3	70,0	68,1	66,5	65,2	64,2
KMt m	12,8	12,4	12,0	11,6	11,3	11,0	10,8	10,6	10,5	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3
KML m	126,0	117,7	110,4	104,0	98,3	93,0	88,4	84,4	80,8	77,6	75,0	72,4	70,1	68,1	66,6	65,3	64,3
Immersion (TPc) tonne/cm	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,7	14,8	14,9	14,9	15,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,7
MTc tonne.m	73,1	74,7	76,2	77,6	78,9	79,8	80,9	82,0	83,1	84,3	85,7	86,9	88,2	89,7	91,6	93,7	96,1
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1056,8	1113,9	1170,2	1226,1	1282,5	1338,2	1397,3	1459,1	1523,8	1591,4	1663,1	1736,8	1815,4	1898,9	1987,4	2081,4	2181,7
Max deck inclination deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Tabla 5. Curvas hidrostáticas para trimado 1,5

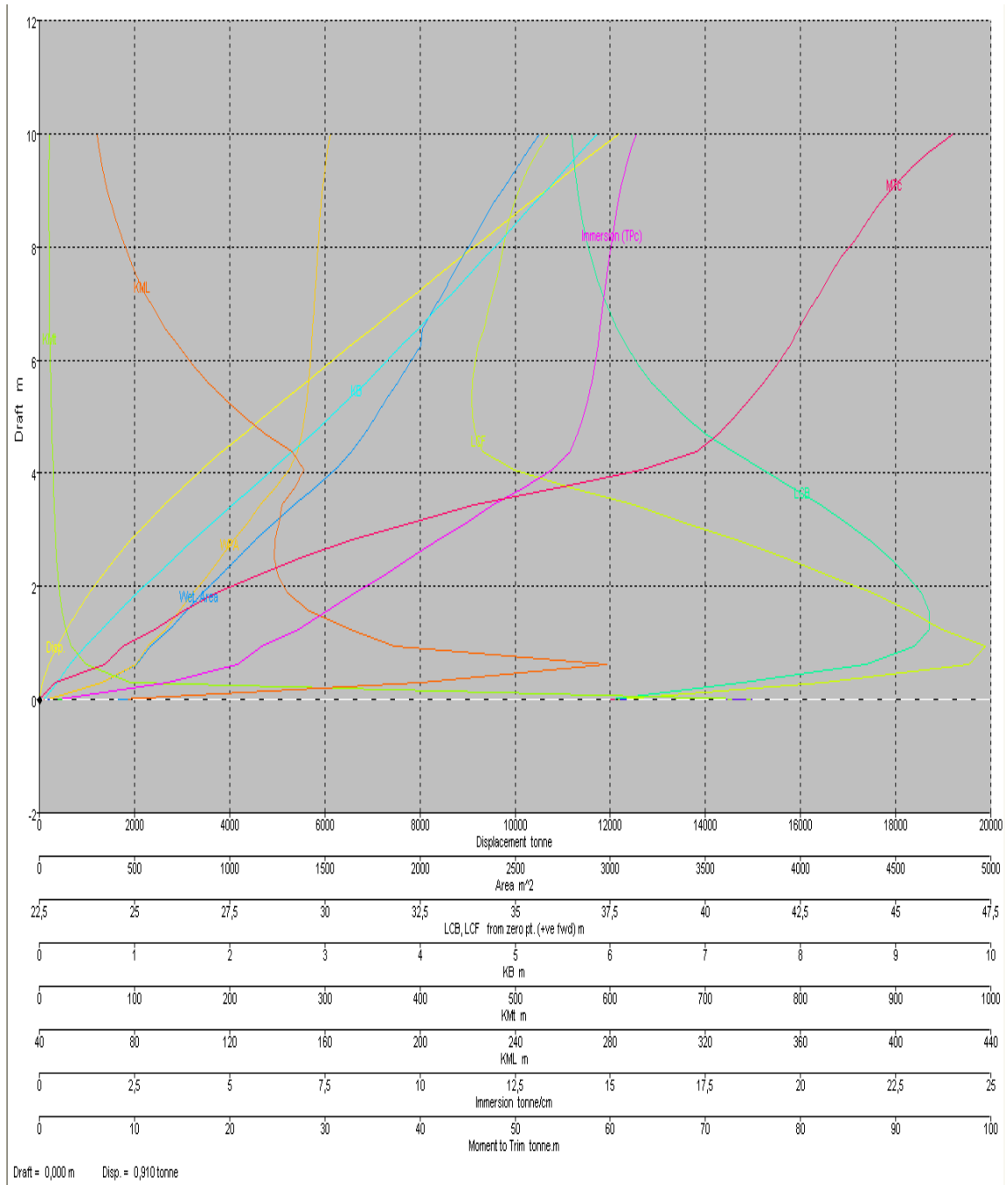


Gráfico 7. Curvas hidrostáticas para trimado 1,5

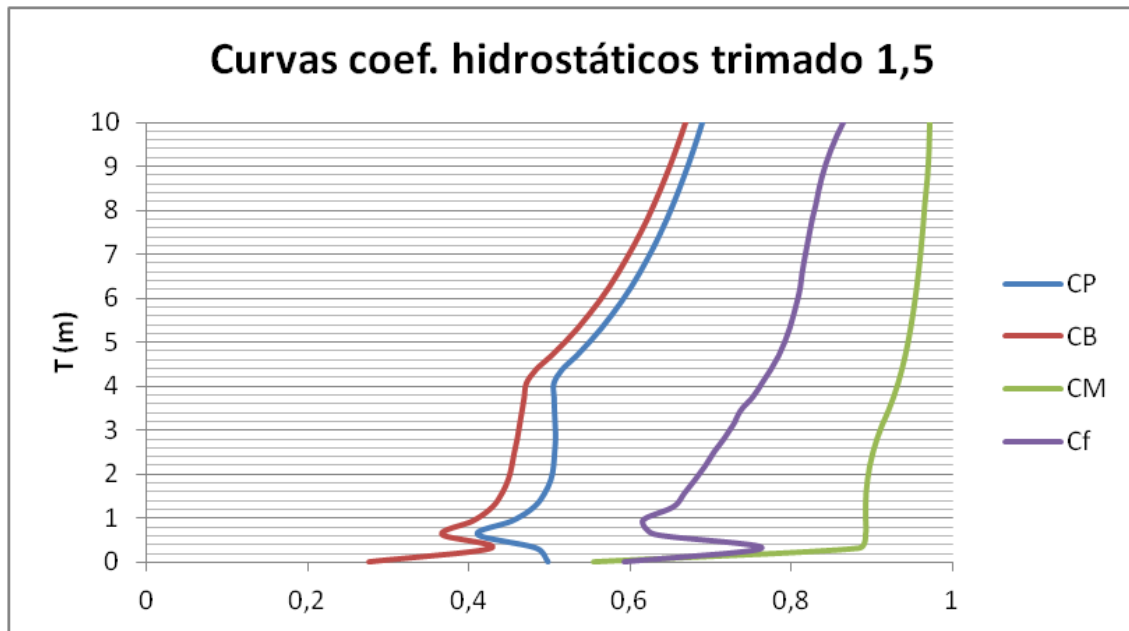


Gráfico 8. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado 1,5

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	14,6	140,3	304,2	483,4	685,0	904,8	1142,0	1398,0	1671,0	1962,0	2272,0	2598,0	2942,0	3305,0	3686,0	4087,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9
Draft at AP m	-0,3	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4
Draft at LCF m	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	4,7
Trim (+ve by stern) m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
WL Length m	36,4	44,3	46,5	48,4	50,5	52,5	54,8	57,1	59,4	62,0	64,4	66,9	69,4	72,0	74,6	77,2
WL Beam m	9,7	16,8	18,2	19,1	19,8	20,4	20,8	21,1	21,4	21,5	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	221,3	470,2	556,9	625,8	693,9	767,1	840,9	916,9	994,5	1076,2	1159,3	1244,4	1332,7	1423,6	1518,2	1613,8
Waterpl. Area m^2	220,5	463,7	539,7	601,2	656,6	714,5	771,0	827,2	882,4	938,9	994,2	1048,2	1104,4	1162,5	1222,6	1282,8
Prismatic Coeff.	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
Block Coeff.	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	61,9	52,0	50,5	50,1	49,6	49,1	48,7	48,2	47,7	47,2	46,7	46,1	45,5	44,8	44,2	43,5
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	56,2	49,9	49,2	48,7	48,1	47,4	46,5	45,6	44,7	43,6	42,5	41,4	40,3	39,1	37,9	36,7
KB m	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	79,2	52,6	34,0	26,4	22,0	19,4	17,4	15,9	14,7	13,6	12,7	11,9	11,3	10,7	10,3	9,9
BML m	1053,8	379,3	224,7	171,0	142,3	127,6	118,6	113,3	109,9	108,6	108,2	108,2	109,1	110,7	113,0	115,5
GMt m	79,2	52,7	34,3	26,9	22,7	20,3	18,5	17,1	16,1	15,2	14,5	13,9	13,4	13,1	12,8	12,6
GML m	1053,7	379,5	225,0	171,5	142,9	128,4	119,7	114,5	111,3	110,2	110,0	110,2	111,3	113,1	115,6	118,2
KMt m	79,3	52,8	34,3	27,0	22,8	20,3	18,5	17,2	16,1	15,2	14,5	13,9	13,5	13,1	12,8	12,6
KML m	1053,8	379,6	225,1	171,6	143,0	128,5	119,7	114,5	111,4	110,3	110,0	110,2	111,3	113,1	115,6	118,2
Immersion (TPc) tonne/cm	2,3	4,8	5,5	6,2	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,6	10,2	10,7	11,3	11,9	12,5	13,1
MTc tonne.m	1,9	6,5	8,4	10,2	12,0	14,3	16,8	19,6	22,8	26,5	30,6	35,1	40,2	45,8	52,3	59,3
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	20,1	129,2	181,9	227,1	271,5	319,9	368,1	417,7	468,1	520,7	574,4	629,6	689,7	754,2	824,5	898,5
Max deck inclination deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4507, 0	4945, 0	5394, 0	5848, 0	6306, 0	6767, 0	7232, 0	7699, 0	8165, 0	8635, 0	9108, 0	9582, 0	10060, 0	10542, 0	11029, 0	11521, 0	12019, 0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,3
Draft at AP m	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,8
Draft at LCF m	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,7	10,0
Trim (+ve by stern) m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
WL Length m	79,7	81,4	81,4	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6	81,7	81,7
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1710, 8	1797, 7	1860, 9	1922, 1	1982, 3	2041, 9	2101, 3	2160, 6	2172, 6	2224, 8	2277, 5	2331, 2	2385,5	2440,8	2499,1	2557,6	2624,0
Waterpl. Area m^2	1343, 2	1390, 3	1408, 3	1422, 4	1434, 1	1444, 0	1452, 5	1460, 1	1465, 1	1471, 0	1477, 6	1487, 0	1498,2	1511,3	1528,0	1545,6	1565,4
Prismatic Coeff.	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+ve fwd)m	42,8	42,1	41,5	41,0	40,5	40,1	39,7	39,4	39,1	38,9	38,7	38,5	38,4	38,2	38,1	38,0	38,0
LCFfrom zeropt(+ve fwd)m	35,5	34,7	34,5	34,5	34,5	34,5	34,6	34,6	34,8	34,9	35,0	35,2	35,4	35,7	35,9	36,2	36,6
KB m	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	4,9	5,1	5,3	5,5	5,6	5,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,5	9,1	8,6	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5	6,2	5,9	5,6	5,4	5,2	5,0	4,9	4,8	4,7
BML m	118,1	117,6	110,9	104,5	98,7	93,4	88,5	84,1	79,9	76,2	73,0	70,4	68,2	66,3	64,9	63,6	62,5
GMt m	12,4	12,2	11,9	11,6	11,4	11,1	10,9	10,8	10,6	10,5	10,4	10,3	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5
GML m	121,1	120,8	114,2	108,0	102,4	97,2	92,6	88,4	84,3	80,8	77,8	75,3	73,3	71,6	70,4	69,2	68,3
KMt m	12,4	12,2	11,9	11,6	11,4	11,1	10,9	10,7	10,6	10,5	10,4	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,5
KML m	121,1	120,8	114,2	108,0	102,4	97,2	92,6	88,4	84,3	80,8	77,8	75,3	73,3	71,6	70,4	69,2	68,3
Immersion (TPc) tonne/cm	13,8	14,3	14,4	14,6	14,7	14,8	14,9	15,0	15,0	15,1	15,1	15,2	15,4	15,5	15,7	15,8	16,0
MTc tonne.m	67,0	73,3	75,6	77,5	79,2	80,7	82,2	83,5	84,5	85,6	86,9	88,6	90,5	92,6	95,2	97,8	100,7
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	976,6	1055, 1	1122, 5	1187, 7	1251, 9	1315, 8	1380, 1	1445, 4	1510, 5	1579, 0	1650, 6	1727, 9	1810,0	1897,7	1992,7	2093,7	2202,4
Max deck inclination deg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4

Tabla 6. Curvas hidrostáticas para trimado -0,5

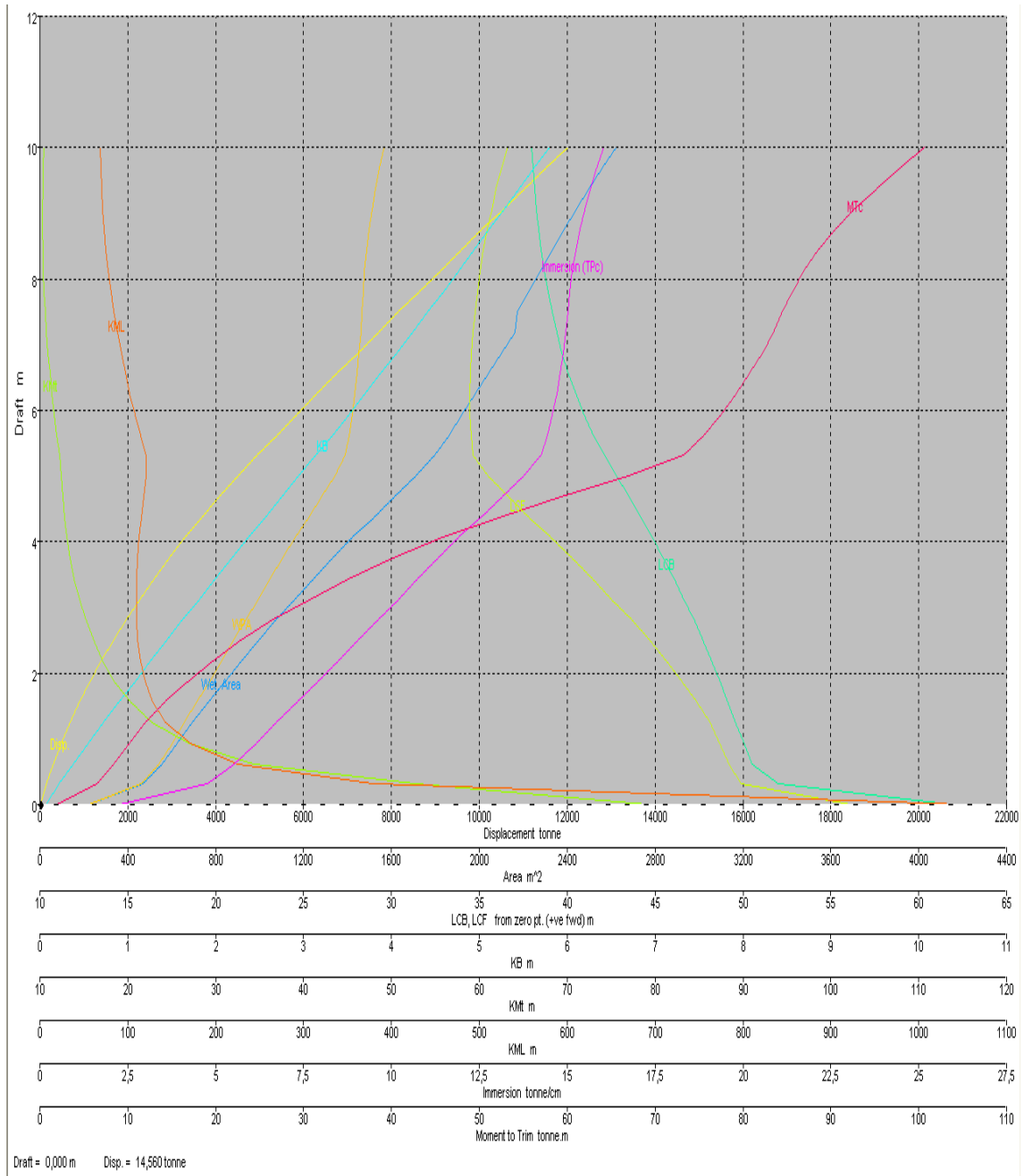


Gráfico 9. Curvas hidrostáticas para trimado -0,5



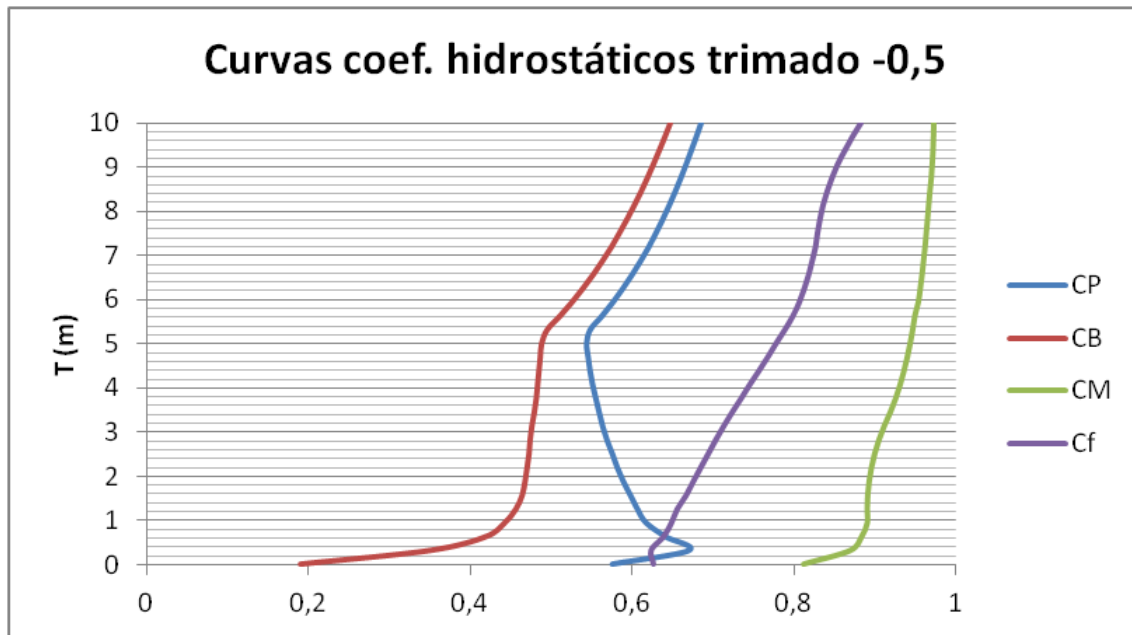


Gráfico 10. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -0,5

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	38,3	167,7	333,0	514,1	716,4	935,2	1171,0	1424,0	1695,0	1981,0	2285,0	2605,0	2942,0	3296,0	3668,0	4058,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2
Draft at AP m	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2
Draft at LCF m	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6
Trim (+ve by stern) m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
WL Length m	37,1	44,5	46,6	48,5	50,3	52,3	54,4	56,6	58,8	61,1	63,5	65,8	68,1	70,6	73,1	75,5
WL Beam m	13,0	16,8	18,1	19,1	19,8	20,4	20,8	21,1	21,4	21,5	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	281,7	480,9	564,5	632,1	700,1	769,1	839,4	912,7	989,3	1066,9	1147,7	1229,9	1307,3	1401,5	1492,5	1584,5
Waterpl. Area m^2	279,0	471,9	543,7	603,1	657,6	711,1	763,9	817,2	870,1	922,9	975,4	1026,8	1073,4	1134,8	1192,0	1249,6
Prismatic Coeff.	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Block Coeff.	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	60,9	53,7	51,7	51,0	50,4	49,8	49,3	48,9	48,3	47,8	47,3	46,7	46,1	45,5	44,9	44,2
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	55,3	50,4	49,7	49,1	48,5	47,8	47,0	46,1	45,2	44,2	43,1	42,1	41,1	39,9	38,7	37,6
KB m	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	61,7	44,8	31,2	24,9	21,1	18,6	16,8	15,4	14,2	13,2	12,4	11,6	10,9	10,5	10,0	9,6
BML m	555,8	328,9	208,8	162,3	136,7	122,3	113,3	108,1	104,8	103,1	102,5	102,4	101,2	104,1	106,1	108,4
GMt m	61,6	45,0	31,5	25,3	21,8	19,5	17,8	16,5	15,6	14,8	14,1	13,5	13,0	12,8	12,5	12,3
GML m	555,7	329,0	209,1	162,8	137,3	123,1	114,3	109,2	106,2	104,7	104,3	104,3	103,4	106,4	108,6	111,1
KMt m	61,8	45,1	31,6	25,5	21,9	19,6	17,9	16,6	15,7	14,9	14,2	13,6	13,1	12,8	12,6	12,4
KML m	555,9	329,1	209,2	162,9	137,4	123,2	114,5	109,3	106,2	104,8	104,4	104,4	103,4	106,5	108,7	111,1
Immersion (TPc) tonne/cm	2,9	4,8	5,6	6,2	6,7	7,3	7,8	8,4	8,9	9,5	10,0	10,5	11,0	11,6	12,2	12,8
MTc tonne.m	2,6	6,8	8,5	10,3	12,1	14,1	16,4	19,1	22,1	25,5	29,2	33,3	37,3	43,0	48,9	55,3
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	41,2	131,6	182,8	227,4	272,1	317,6	363,6	411,0	461,0	510,6	562,1	615,1	668,1	734,7	802,0	873,1
Max deck inclination deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4467, 0	4895, 0	5340, 0	5792, 0	6249, 0	6710, 0	7175, 0	7643, 0	8113, 0	8581, 0	9055, 0	9531, 0	10011, 0	10495, 0	10983, 0	11478, 0	11979, 0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,5	5,8	6,1	6,4	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5
Draft at AP m	4,5	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5
Draft at LCF m	4,9	5,2	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	10,0
Trim (+ve by stern) m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
WL Length m	77,9	80,3	81,4	81,4	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6	81,7	81,7	81,8
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1678, 5	1770, 4	1853, 0	1915, 5	1976, 3	2036, 3	2096, 0	2155, 4	2214, 7	2225, 4	2278, 9	2332, 8	2387,5	2443,2	2502,3	2561,3	2624,0
Waterpl. Area m^2	1307, 6	1362, 2	1403, 2	1419, 6	1432, 9	1443, 9	1453, 3	1461, 5	1468, 8	1473, 7	1482, 0	1492, 2	1504,3	1518,1	1536,0	1554,6	1575,7
Prismatic Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+ve fwd)m	43,6	42,9	42,3	41,7	41,1	40,7	40,3	40,0	39,7	39,4	39,2	39,0	38,8	38,7	38,5	38,4	38,4
LCFfrom zeropt(+ve fwd)m	36,5	35,4	34,8	34,7	34,6	34,6	34,7	34,7	34,8	35,0	35,1	35,3	35,6	35,8	36,1	36,4	36,8
KB m	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,3	8,9	8,6	8,1	7,7	7,3	6,9	6,6	6,2	5,9	5,7	5,4	5,2	5,1	4,9	4,8	4,8
BML m	110,8	112,6	111,3	105,2	99,5	94,2	89,4	85,0	81,0	77,1	74,0	71,4	69,3	67,4	66,0	64,7	63,6
GMt m	12,2	12,0	11,9	11,6	11,4	11,2	11,0	10,8	10,6	10,5	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,6
GML m	113,7	115,7	114,5	108,7	103,1	98,1	93,4	89,2	85,4	81,7	78,8	76,4	74,4	72,7	71,5	70,3	69,4
KMt m	12,2	12,0	11,9	11,6	11,4	11,2	11,0	10,8	10,6	10,5	10,4	10,4	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5
KML m	113,8	115,7	114,6	108,7	103,1	98,1	93,4	89,2	85,4	81,6	78,8	76,4	74,4	72,6	71,4	70,3	69,4
Immersion (TPc) tonne/cm	13,4	14,0	14,4	14,6	14,7	14,8	14,9	15,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,4	15,6	15,7	15,9	16,2
MTc tonne.m	62,3	69,5	75,0	77,2	79,1	80,7	82,3	83,7	85,0	86,0	87,5	89,3	91,4	93,6	96,3	99,1	102,0
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	948,6	1026, 8	1105, 4	1173, 7	1240, 3	1306, 3	1372, 3	1439, 0	1506, 9	1574, 8	1647, 8	1725, 9	1809,1	1898,1	1994,9	2098,1	2209,9
Max deck inclination deg	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7

Tabla 7. Curvas hidrostáticas para trimado -I

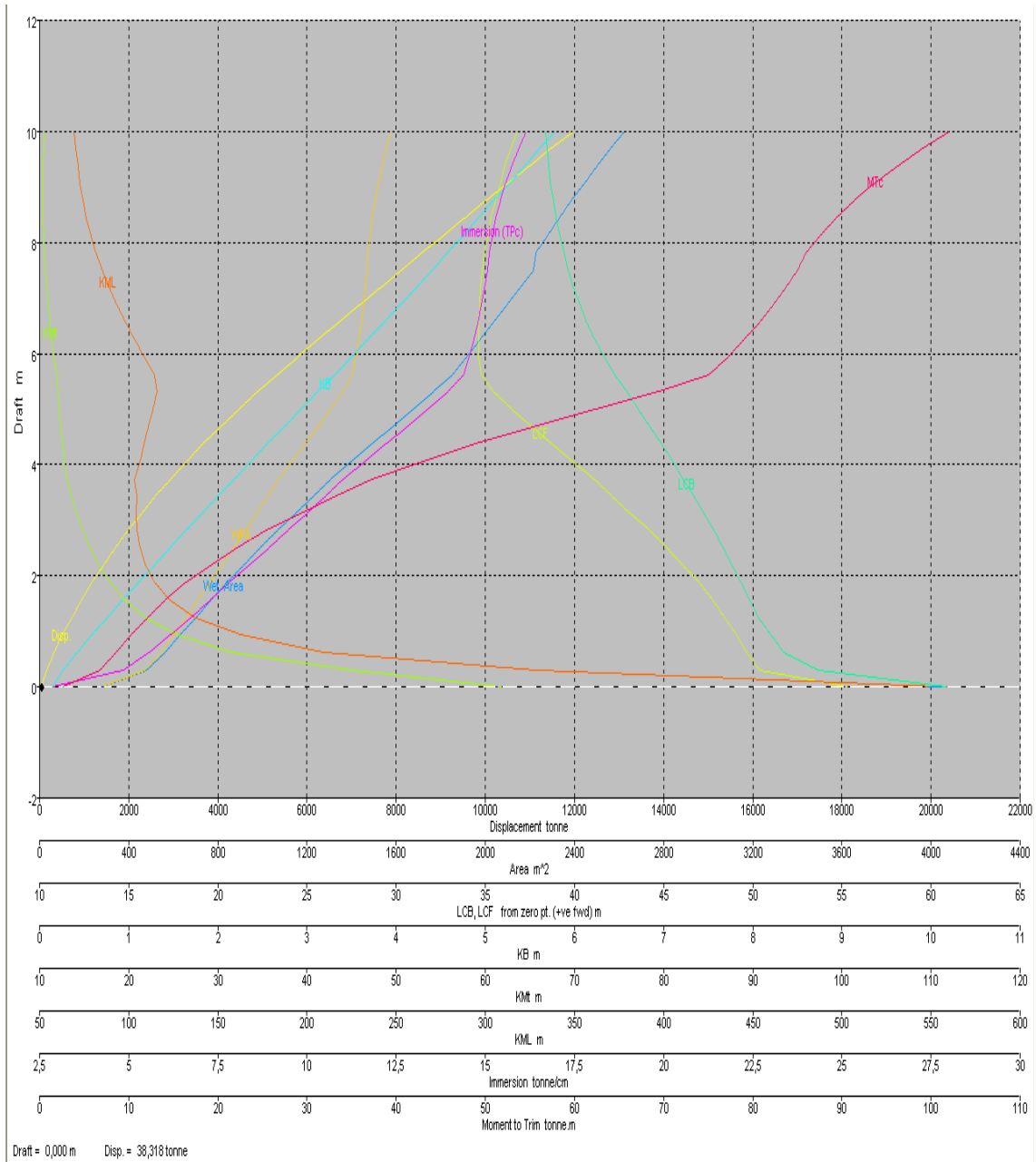


Gráfico 11. Curvas hidrostáticas para trimado -1

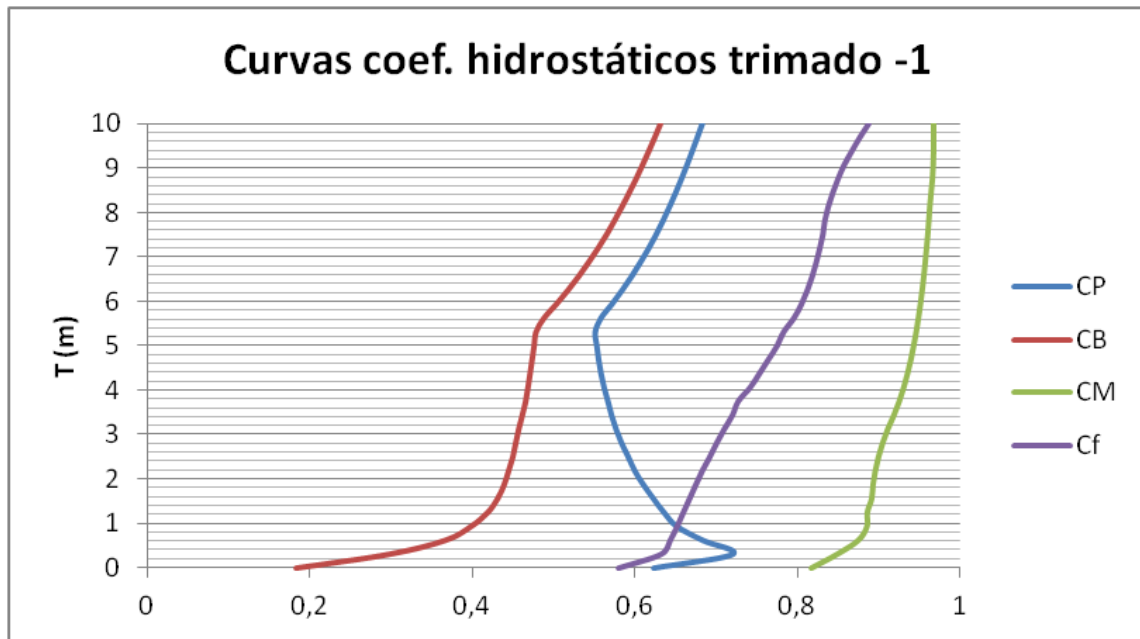


Gráfico 12. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -1

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	0	0,313	0,625	0,938	1,25	1,563	1,875	2,188	2,5	2,813	3,125	3,438	3,75	4,063	4,375	4,688
Displacement tonne	65,1	197,0	363,5	546,2	748,7	967,1	1202,0	1453,0	1720,0	2002,0	2301,0	2615,0	2945,0	3292,0	3656,0	4037,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4
Draft at AP m	-0,8	-0,4	-0,1	0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9
Draft at LCF m	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6
Trim (+ve by stern) m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
WL Length m	37,6	44,7	46,7	48,5	50,2	52,1	54,0	56,2	58,2	60,4	62,6	64,9	67,1	69,3	71,6	73,9
WL Beam m	13,6	16,7	18,1	19,0	19,8	20,3	20,8	21,1	21,4	21,5	21,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	316,6	490,2	572,0	638,1	705,1	771,6	838,1	911,9	984,2	1058,9	1136,8	1216,5	1298,1	1382,5	1470,3	1559,0
Waterpl. Area m^2	311,1	478,4	547,3	604,8	657,2	708,2	757,1	809,0	858,9	908,3	957,7	1007,1	1057,5	1110,0	1164,6	1219,9
Prismatic Coeff.	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Block Coeff.	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Midship Area Coeff.	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Waterpl. Area Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
LCB from zero pt.(+ve fwd)m	60,8	55,0	52,8	51,8	51,1	50,5	50,0	49,4	48,9	48,4	47,9	47,3	46,7	46,1	45,5	44,9
LCF from zero pt.(+ve fwd) m	55,0	50,8	50,0	49,4	48,8	48,1	47,4	46,5	45,6	44,7	43,7	42,6	41,6	40,6	39,5	38,5
KB m	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	45,2	38,7	28,7	23,4	20,2	17,9	16,1	14,9	13,8	12,8	12,0	11,3	10,7	10,2	9,8	9,4
BML m	394,3	287,3	194,1	153,8	130,7	117,2	108,2	103,4	100,1	98,1	97,3	97,1	97,3	98,3	100,1	102,1
GMt m	45,1	38,7	29,0	23,9	20,8	18,7	17,1	16,0	15,1	14,3	13,7	13,2	12,8	12,5	12,3	12,1
GML m	394,2	287,4	194,3	154,3	131,3	118,0	109,2	104,6	101,5	99,7	99,0	99,0	99,4	100,6	102,5	104,8
KMt m	45,4	39,0	29,2	24,1	21,0	18,9	17,3	16,2	15,3	14,5	13,8	13,3	12,9	12,6	12,3	12,1
KML m	394,5	287,6	194,6	154,5	131,5	118,2	109,3	104,7	101,6	99,8	99,2	99,1	99,5	100,7	102,6	104,9
Immersion (TPc) tonne/cm	3,2	4,9	5,6	6,2	6,7	7,3	7,8	8,3	8,8	9,3	9,8	10,3	10,8	11,4	11,9	12,5
MTc tonne.m	3,1	6,9	8,7	10,3	12,1	14,0	16,1	18,6	21,4	24,5	28,0	31,8	35,9	40,6	46,0	51,9
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	51,2	133,2	183,8	227,6	271,5	315,4	359,0	406,2	453,3	500,8	549,8	601,4	657,2	717,2	781,9	850,3
Max deck inclination deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Trim angle (+ve by stern) deg	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1

Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval

Draft Amidship m	5	5,313	5,625	5,938	6,25	6,563	6,875	7,188	7,5	7,813	8,125	8,438	8,75	9,063	9,375	9,688	10
Displacement tonne	4436,0	4853,0	5288,0	5738,0	6194,0	6655,0	7119,0	7587,0	8058,0	8531,0	9002,0	9480,0	9962,0	10448,0	10939,0	11437,0	11941,0
Heel to Starboard degrees	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,8
Draft at AP m	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3
Draft at LCF m	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9
Trim (+ve by stern) m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
WL Length m	76,2	78,5	80,8	81,4	81,4	81,4	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,6	81,6	81,7	81,7	81,8	81,8
WL Beam m	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Wetted Area m^2	1650,5	1743,1	1833,1	1908,1	1970,0	2030,6	2090,5	2150,1	2209,6	2269,8	2280,3	2334,7	2389,8	2446,1	2504,1	2566,1	2623,5
Waterpl. Area m^2	1275,5	1331,3	1383,9	1415,5	1430,7	1443,1	1453,5	1462,5	1470,4	1478,7	1486,9	1498,1	1510,8	1525,5	1542,8	1564,5	1578,1
Prismatic Coeff.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Block Coeff.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Midship Area Coeff.	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Waterpl. Area Coeff.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
LCBfrom zeropt(+ve fwd)m	44,3	43,7	43,0	42,4	41,8	41,3	40,9	40,5	40,2	39,9	39,7	39,4	39,3	39,1	39,0	38,9	38,8
LCFfrom zeropt(+ve fwd)m	37,4	36,3	35,3	34,9	34,8	34,8	34,8	34,8	34,9	35,0	35,2	35,5	35,7	36,0	36,3	36,6	36,9
KB m	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,8
KG m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BMt m	9,1	8,8	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,6	6,3	6,0	5,7	5,5	5,3	5,1	5,0	4,9	4,8
BML m	104,4	106,7	108,4	105,6	100,1	95,0	90,2	85,8	81,8	78,3	75,1	72,6	70,4	68,5	66,9	65,9	64,0
GMt m	11,9	11,8	11,7	11,6	11,3	11,2	11,0	10,8	10,7	10,6	10,5	10,4	10,4	10,4	10,5	10,5	10,6
GML m	107,2	109,8	111,6	109,1	103,8	98,8	94,2	90,0	86,2	82,9	79,9	77,5	75,5	73,8	72,4	71,5	69,9
KMt m	12,0	11,9	11,8	11,6	11,4	11,2	11,0	10,8	10,7	10,5	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,6
KML m	107,3	109,8	111,7	109,1	103,8	98,8	94,2	90,0	86,2	82,9	79,9	77,5	75,5	73,7	72,4	71,5	69,8
Immersion (TPc) tonne/cm	13,1	13,6	14,2	14,5	14,7	14,8	14,9	15,0	15,1	15,2	15,2	15,4	15,5	15,6	15,8	16,0	16,2
MTc tonne.m	58,4	65,4	72,4	76,8	78,9	80,7	82,3	83,8	85,2	86,8	88,3	90,2	92,3	94,6	97,2	100,3	102,3
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	923,6	1000,8	1080,9	1157,4	1226,9	1295,1	1363,1	1431,4	1500,6	1571,5	1644,8	1723,9	1808,3	1898,9	1996,6	2103,5	2208,1
Max deck inclination deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7

Tabla 8. Curvas hidrostáticas para trimado -1,5

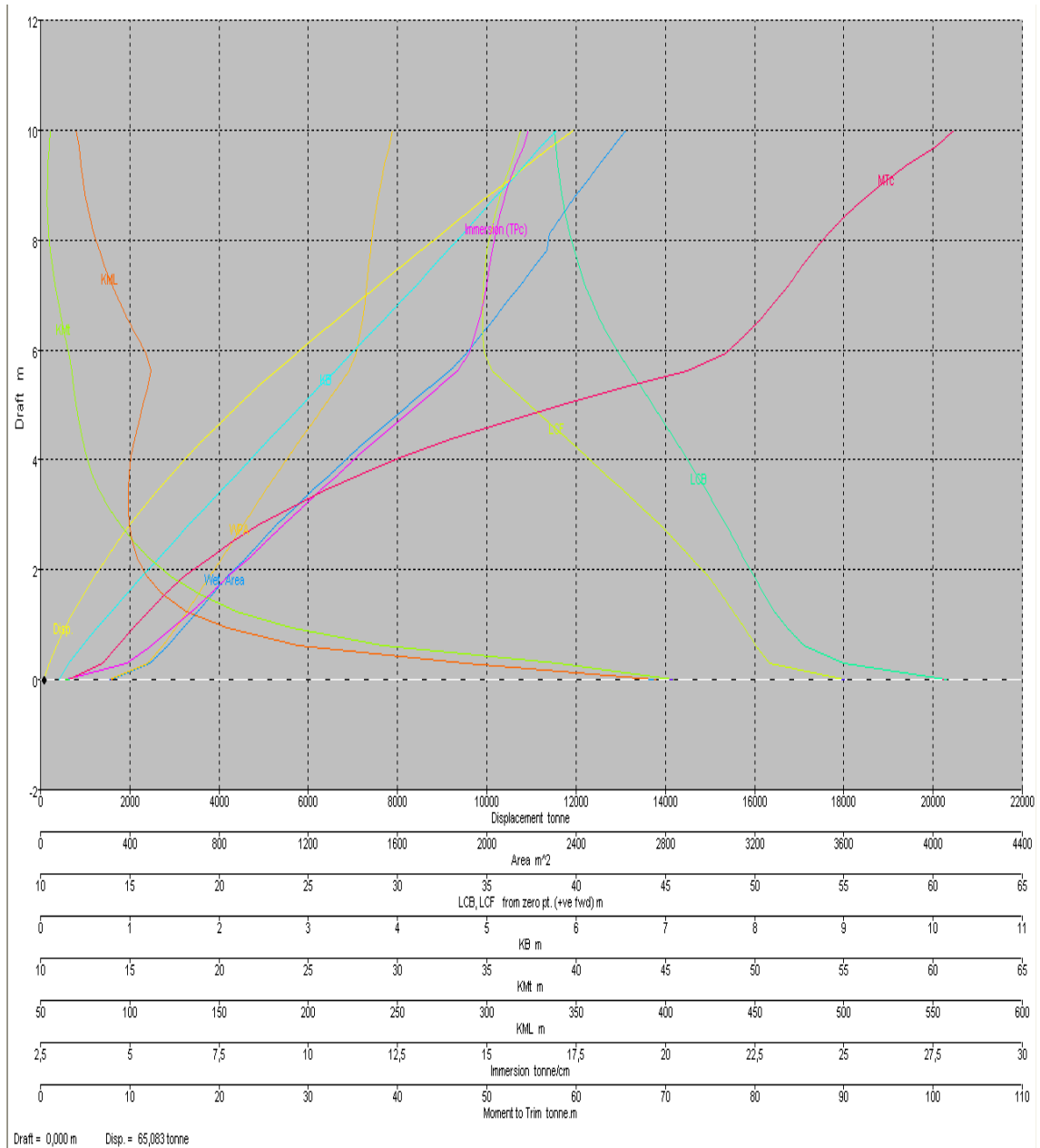


Gráfico 13. Curvas hidrostáticas para trimado -1,5



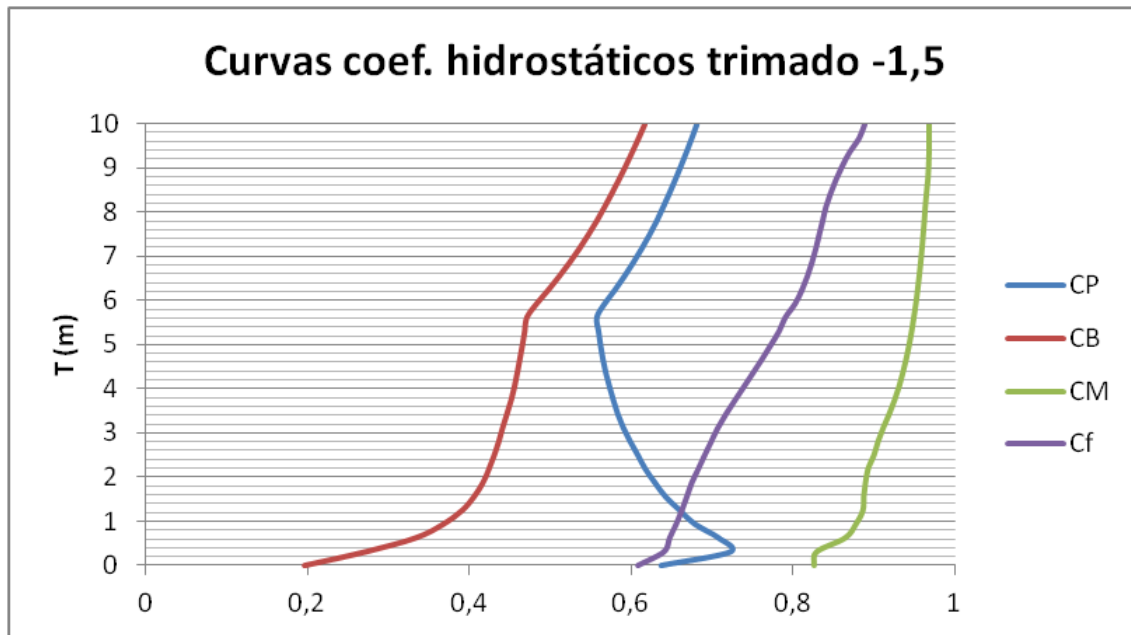


Gráfico 14. Curvas de coeficientes hidrostáticos para trimado -1,5

### 3. Estabilidad transversal

La estabilidad es un factor muy importante para la seguridad de un buque. Se puede definir como la aptitud que debe poseer un cuerpo para recobrar su posición de equilibrio cuando ha sido apartado de ésta por una causa fortuita.

Empleando el módulo Hydromax de Maxsurf se van a determinar la estabilidad transversal inicial y la estabilidad transversal a grandes ángulos, las cuales serán analizadas con mayor detalle en el cuaderno 12, Situaciones de carga y resistencia longitudinal.

#### 3.1 Estabilidad transversal inicial

Para pequeños ángulos se puede definir metacentro (M) como el punto donde se cortan el eje de simetría del barco y la vertical que pasa por el centro de empuje. Si el metacentro (M) está más alto que el centro de gravedad (G), el equilibrio del buque es estable; cuando el metacentro (M) está más bajo que el centro de gravedad (G), el par de fuerzas tiende por el contrario a inclinar más el barco y diremos que este es inestable; si el metacentro coincidiera con la situación del centro de gravedad, tendríamos un equilibrio indiferente.

El par adrizante que aparece ante una pequeña escora tiene la siguiente expresión:

$$\text{Par adrizante} = \Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \sin \theta$$

El parámetro utilizado para evaluar la estabilidad inicial es el GM, la altura metacéntrica.

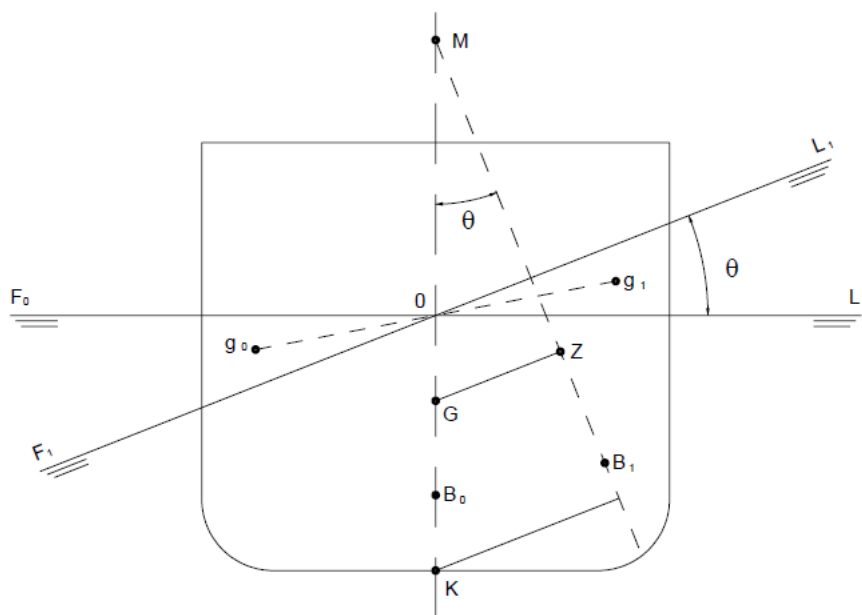


Figura 1. Estabilidad inicial

La altura metacéntrica transversal inicial ( $GM_0$ ) no debe ser inferior a 0,15 m. Para un calado de 7,70 metros y trimado 0, el valor obtenido para KM es 10,42 metros. La posición del centro de gravedad, G, no se conocerá exactamente hasta la realización de la experiencia de estabilidad en el cuaderno 12, con lo cual se aproxima su valor según lo indicado en el cuaderno 2, dimensionamiento, por lo que:

$$GM = KM - KG = 10,42m - 7,14m = 3,28m$$

Entonces, la curva de estabilidad inicial a pequeños ángulos, tiene el siguiente aspecto:

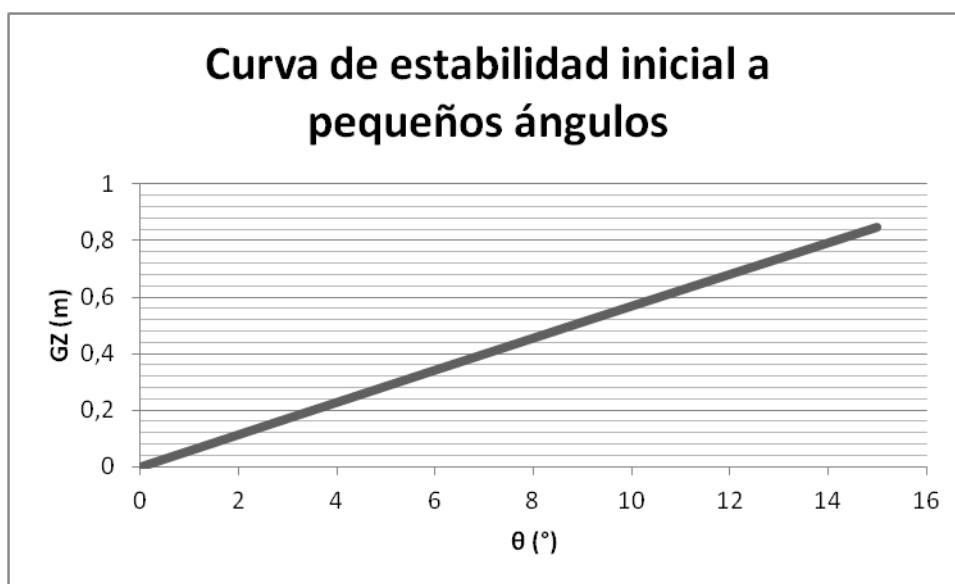


Gráfico 15. Curva de estabilidad inicial a pequeños ángulos

$\theta (^{\circ})$	GZ (m)	Par adrizante (t·m)
0	0	0
1	0,057	485,5
2	0,115	970,9
3	0,172	1456,
4	0,229	1940,7
5	0,286	2424,8
6	0,343	2908,1
7	0,400	3390,5
8	0,457	3871,9
9	0,513	4352,2
10	0,570	4831,1
11	0,626	5308,5
12	0,682	5784,3
13	0,738	6258,4
14	0,794	6730,5
15	0,849	7200,6

Tabla 9. Valores de GZ y par adrizante a pequeños ángulos

### 3.2 Estabilidad transversal a grandes ángulos. Carenas inclinadas

Cuando el ángulo de escora es mayor, el metacentro ya no está en crujía y no se puede aplicar el razonamiento utilizado para escoras de pequeños ángulos. No obstante, el razonamiento del valor del par adrizante sigue siendo válido:

$$\text{Par adrizante} = \Delta \cdot GZ$$

El parámetro indicativo de la estabilidad a grandes ángulos es el valor  $GZ$  que recibe el nombre de brazo adrizante. El producto de este brazo por el desplazamiento,  $\Delta \cdot GZ$ , se denomina momento adrizante. Está claro que para una determinada condición de carga, un conocido  $G$ , el valor de  $GZ$  depende del ángulo de escora. Para una determinada situación de carga, estas curvas  $GZ$  en función del ángulo de escora es lo que se denomina curvas de estabilidad.

Al depender el brazo adrizante de estabilidad,  $GZ$ , de la posición del centro de gravedad del buque,  $G$ , los cálculos sólo sirven para una determinada situación de carga, definida por su desplazamiento y por la situación de su centro de gravedad.

Para solventar este problema se calculan las curvas de estabilidad con un centro de gravedad ficticio y, posteriormente, se corrigen para un determinado centro de gravedad. El centro de gravedad normalmente elegido es la intersección del plano de crujía con la línea de base y se suele denominar  $K$ .

Para una gama de desplazamientos y una serie de ángulos se calculan los brazos, en este caso,  $KN$  y constituyen las denominadas curvas  $KN$  o carenas inclinadas.

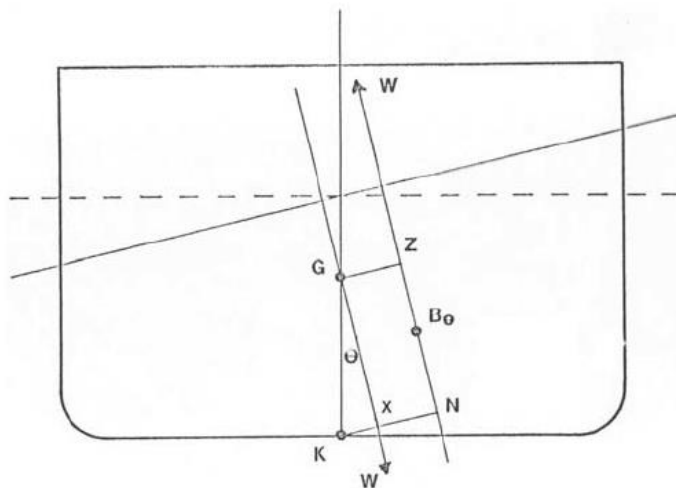


Figura 2. Estabilidad a grandes ángulos

De la figura anterior se deduce que una vez conocidas las curvas  $KN$ , para un determinado centro de gravedad, la expresión del brazo adrizante será:

$$GZ = KN - KG \sin \theta$$

Se han trazado las curvas  $KN$  entre  $5^\circ$  y  $45^\circ$ , para unos desplazamientos de 6000 a 10500 toneladas.

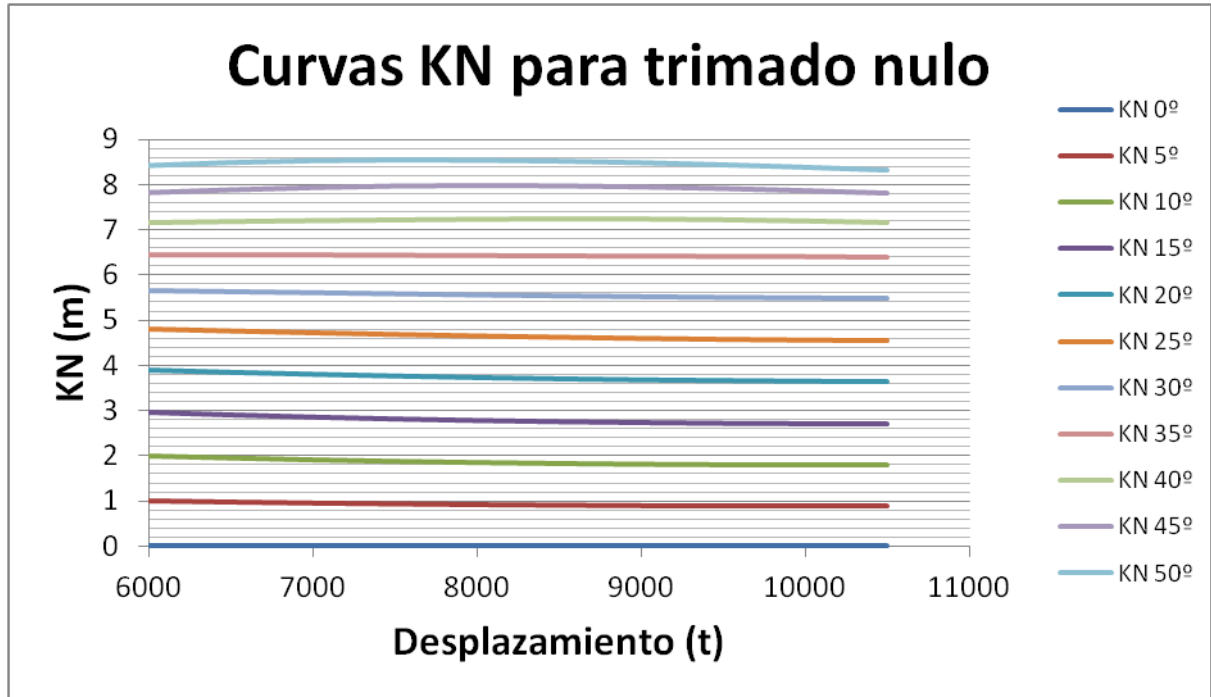


Gráfico 16. Curvas KN para trimado nulo

La tabla con los datos necesarios para hacer estas curvas se presenta seguidamente. Los datos se obtuvieron con el módulo Hydromax de Maxsurf.

Desplazamiento	LCG	KN										
t	m	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
6000	40,2	0	1,009	2,001	2,966	3,898	4,798	5,649	6,437	7,157	7,817	8,419
6500	39,7	0	0,983	1,957	2,913	3,848	4,759	5,626	6,437	7,185	7,875	8,481
7000	39,3	0	0,961	1,917	2,865	3,803	4,722	5,603	6,433	7,207	7,922	8,52
7500	39,0	0	0,943	1,884	2,824	3,763	4,686	5,579	6,427	7,225	7,955	8,536
8000	38,7	0	0,928	1,857	2,791	3,728	4,654	5,555	6,42	7,24	7,966	8,531
8500	38,5	0	0,915	1,836	2,765	3,699	4,626	5,534	6,413	7,25	7,959	8,511
9000	38,3	0	0,906	1,82	2,746	3,675	4,601	5,516	6,407	7,246	7,937	8,478
9500	38,1	0	0,901	1,81	2,731	3,657	4,581	5,5	6,402	7,229	7,903	8,434
10000	38,0	0	0,898	1,805	2,722	3,643	4,566	5,488	6,397	7,2	7,858	8,381
10500	37,9	0	0,898	1,803	2,716	3,633	4,555	5,479	6,382	7,162	7,805	8,321

Tabla 10. Valor de las curvas KN para cada desplazamiento

A continuación, se muestran los datos de la curva KN para el desplazamiento de proyecto, 8482 toneladas, variando la escora a estribor de 0° a 90°. Como se puede observar, a partir de la escora de 70°, se produce una pérdida de estabilidad, seguramente, por la inundación de espacios.

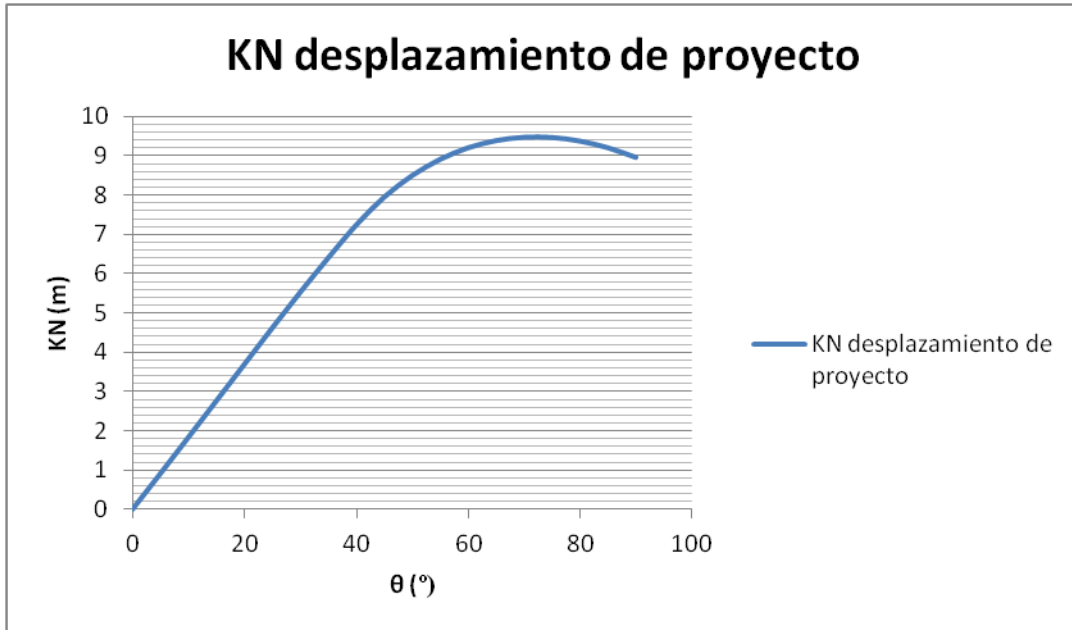


Gráfico 17. Curvas KN para el desplazamiento de proyecto, 8482t

<b>Desplazamiento (t)</b>	8482		
<b>LCG (m)</b>	38,51		
<b>θ (°)</b>	<b>KN (m)</b>	<b>θ (°)</b>	<b>KN (m)</b>
0	0	50	8,512
5	0,916	55	8,926
10	1,837	60	9,219
15	2,766	65	9,403
20	3,700	70	9,489
25	4,627	75	9,483
30	5,535	80	9,392
35	6,413	85	9,222
40	7,250	90	8,976
45	7,960		

Tabla 11. Valores de las carenas inclinadas para el desplazamiento de proyecto, 8482t

El dibujo del brazo adrizante GZ calculado como función del ángulo de escora,  $\theta$ , y para un determinado desplazamiento,  $\Delta$ , y posición del centro de gravedad, KG, constituyen las curvas de estabilidad estática.

$$GZ = KN - KG \sin \theta$$

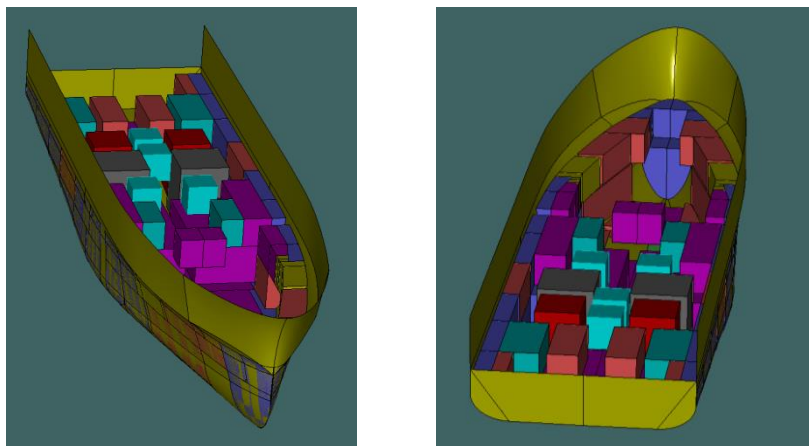
Estos diagramas se usan para evaluar la estabilidad transversal de un determinado barco para una situación de carga dada. En el cuaderno 12 se analizarán las curvas de estabilidad estática y dinámica para diferentes situaciones de carga, obteniendo las curvas de GZ en función del ángulo de escora.

#### **4. Tabla y plano de capacidades y c. de g. de espacios, con resúmenes por tipo de contenido**

Este apartado tiene como objetivo describir los distintos tanques dispuestos en el buque proyecto: su capacidad, tonelaje, posición y tipo de contenido. Las capacidades que se indican son para el 100 % de llenado (sonda al máximo) con los centros de gravedad correspondientes a dicho calado. Todo el diseño de tanques se ha llevado a cabo según se avanzaba en la definición del buque proyecto, teniendo en cuenta las conclusiones a las que se llegaba en cada cuaderno.

En el plano de disposición general se puede observar que se ha cuidado disponer los tanques de forma simétrica respecto al plano de crujía, de forma que el equilibrio del buque sea el mejor posible, al igual que las condiciones de estabilidad en averías. Todo el proceso de diseño y ubicación de los distintos tanques se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la normativa vigente: Convenios SOLAS y MARPOL y Sociedad de Clasificación Lloyd's Register.

Se ha tratado, además, de aumentar el compartimentado, de forma que se reduzcan en lo posible las superficies libres. Como se dijo antes en el cuaderno 4, *Disposición General*, los mamparos de los tanques deben coincidir con refuerzos primarios. En la siguiente imagen se muestra el compartimentado de los tanques realizado con el módulo Hydromax del programa Maxsurf



*Figura 3. Disposición de tanques del buque proyecto en el programa Maxsurf*

A continuación se indican las características de los tanques instalados en el buque proyecto. Debe indicarse que el sistema de referencia se encuentra en la flotación (7,70 m sobre la línea de base) en el extremo de popa del buque. Todos los tanques se disponen por debajo de la cubierta principal (1ª Cubierta). En las siguientes tablas se colorean de gris los tanques situados bajo el doble fondo, en azul los tanques instalados sobre el doble fondo hasta la 2ª Cubierta y en rojo los tanques sobre la 2ª Cubierta hasta la cubierta principal.

#### 4.1. Tanques de lastre y estabilidad

La misión de los tanques de lastre es garantizar las condiciones de estabilidad requeridas en toda situación, así como el calado o asiento necesarios en dichas situaciones. Se ubican tanques de lastre a ambas bandas del buque proyecto y en el doble fondo para poder corregir escoras y asientos.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m³)	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Lastre 1	1,500	100	34,242	35,098	44,052	-3,550	-6,937
Lastre 2	1,500	100	34,242	35,098	44,052	3,550	-6,937
Lastre 3	1,453	100	37,274	38,206	38,387	-8,217	-6,724
Lastre 4	1,453	100	37,274	38,206	38,387	8,217	-6,724
Lastre 5	1,438	100	47,28	48,462	33,084	-3,548	-6,720
Lastre 6	1,438	100	47,28	48,426	33,084	3,548	-6,720
Lastre 7	1,438	100	15,454	15,840	49,320	-7,342	-6,686
Lastre 8	1,438	100	15,454	15,840	49,320	7,342	-6,686
Lastre 9	6,000	100	41,984	43,034	77,005	-0,904	-3,930
Lastre10	6,000	100	41,984	43,034	77,005	0,904	-3,930
Lastre11	4,500	100	63,273	64,855	40,386	-9,541	-3,871
Lastre12	4,500	100	63,273	64,855	40,386	9,541	-3,871
Lastre13	4,500	100	71,710	73,503	33,713	-9,582	-3,834
Lastre14	4,500	100	71,710	73,503	33,713	9,582	-3,834
Lastre15	4,500	100	13,821	14,167	47,644	-9,489	-3,499
Lastre16	4,500	100	13,821	14,167	47,644	9,489	-3,499
Lastre17	1,999	100	119,168	122,147	12,263	-4,430	-3,418
Lastre18	1,999	100	119,168	122,147	12,263	4,430	-3,418
Lastre19	4,448	100	44,043	45,144	26,147	-9,870	-3,288
Lastre20	4,448	100	44,043	45,144	26,147	9,870	-3,288
Lastre21	4,206	100	10,872	11,144	54,367	-8,258	-3,093
Lastre22	4,206	100	10,872	11,144	54,367	8,258	-3,093
Lastre23	3,149	100	24,438	25,049	18,315	-9,827	-2,784
Lastre24	3,149	100	24,438	25,049	18,315	9,827	-2,784
Lastre25	2,254	100	14,998	15,373	11,062	-9,740	-2,401
Lastre26	2,254	100	14,998	15,373	11,061	9,740	-2,401
Lastre27	1,731	100	15,119	15,497	3,834	-8,790	-2,244
Lastre28	1,731	100	15,119	15,497	3,834	8,790	-2,244
Lastre29	7,900	100	19,600	20,090	44,678	-9,756	-1,900
Lastre30	7,900	100	19,600	20,090	44,678	9,756	-1,900
Lastre31	3,400	100	49,646	50,887	34,304	-9,964	0,000
Lastre32	3,400	100	49,646	50,887	34,304	9,964	0,000
Lastre33	3,400	100	42,112	43,165	18,052	-9,966	0,000
Lastre34	3,400	100	42,112	43,165	18,052	9,966	0,000
Lastre35	3,400	100	45,932	47,080	10,584	-9,966	0,006
Lastre36	3,400	100	45,932	47,080	10,584	9,966	0,006
Lastre37	3,400	100	28,942	29,665	41,076	-9,920	0,011
Lastre38	3,400	100	28,942	29,665	41,076	9,920	0,011



Lastre39	3,400	100	37,853	38,800	3,399	-9,946	0,053
Lastre40	3,400	100	37,853	38,800	3,399	9,946	0,053
Lastre41	3,400	100	19,749	20,242	48,069	-9,679	0,124
Lastre42	3,400	100	19,749	20,242	48,069	9,679	0,124
Lastre43	3,400	100	13,795	14,140	79,359	-0,825	0,177
Lastre44	3,400	100	13,795	14,140	79,359	0,825	0,177
Lastre45	3,400	100	15,184	15,564	53,256	-9,102	0,262
Lastre46	3,400	100	15,184	15,564	53,256	9,102	0,262
Lastre47	3,400	100	11,838	12,134	76,173	-2,616	0,266
Lastre48	3,400	100	11,838	12,134	76,173	2,616	0,266
<b>TOTAL</b>			<b>1676,65 m<sup>3</sup></b>	<b>1718,57 t</b>			

Tabla 12. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de lastre

#### 4.2. Tanques almacén de combustible

Como se explicará en el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*, el tipo de combustible que emplearán los motores principales es Marine Diesel Fuel (MDF) tipo ISO-F-DMB (Marine Diesel Oil) de densidad 900 kg/m<sup>3</sup>.

Se muestran en la siguiente tabla las capacidades y ubicación de los tanques almacén de este combustible .

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
MDF 1	0,700	100	32,532	29,279	39,179	-3,575	-6,550
MDF 2	0,700	100	32,532	29,279	39,179	3,575	-6,550
MDF 3	0,700	100	29,575	26,617	48,929	3,250	-6,550
MDF 4	0,700	100	29,575	26,617	48,929	-3,250	-6,550
MDF 5	0,700	100	14,196	12,776	64,529	-1,300	-6,550
MDF 6	0,700	100	14,196	12,776	64,529	1,300	-6,550
MDF 7	4,500	100	482,186	433,968	36,904	-4,525	-3,950
MDF 8	4,500	100	482,186	433,968	36,904	4,525	-3,950
MDF 9	1,000	100	88,725	79,853	11,554	-4,550	-2,200
MDF 10	1,000	100	88,725	79,853	11,554	4,550	-2,200
MDF 13	3,400	100	28,730	25,857	47,304	-1,300	0,000
MDF 14	3,400	100	28,730	25,857	47,304	1,300	0,000
<b>TOTAL</b>			<b>1351,89 m<sup>3</sup></b>	<b>1215,90 t</b>			

Tabla 13. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de combustible

### 4.3. Tanques almacén de aceite lubricante

Los tanques almacén de aceite lubricante se disponen en los costados de cámara de máquinas y su dimensionamiento se justifica en el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Aceite 1	3,400	100	8,384	7,521	56,064	-8,130	0,171
Aceite 2	3,400	100	8,384	7,521	56,064	8,130	0,171
Aceite 3	3,400	100	32,326	28,996	59,352	-7,448	0,199
Aceite 4	3,400	100	32,326	28,996	59,352	7,448	0,199
<b>TOTAL</b>			<b>81,42 m<sup>3</sup></b>	<b>73,03 t</b>			

Tabla 14. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de aceite lubricante

### 4.4. Tanques sucios

Se trata de los tanques de sentinas, lodos, aceite sucio y aguas aceitosas. Deben situarse en el doble fondo de cámara de máquinas. En el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*, se dimensionan las capacidades mínimas de estos tanques: lodos 12 m<sup>3</sup>, aguas aceitosas 6 m<sup>3</sup>, sentinas 9 m<sup>3</sup>, aceite sucio 20 m<sup>3</sup>.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
A. sucio	0,700	100	20,702	18,570	55,429	-2,275	-6,550
Lodos	0,700	100	11,830	11,171	55,429	1,300	-6,550
Sentinas	0,700	100	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,550
Ag. Ac.	0,700	100	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,550

Tabla 15. Capacidad y centro de gravedad de los tanques sucios

### 4.5. Tanques de aguas residuales

Los tanques de aguas residuales se sitúan en el buque buscando que estén en el doble fondo.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
AR 1	1,435	100	16,227	16,227	55,720	-5,380	-6,773
AR 2	1,435	100	16,227	16,227	55,720	5,380	-6,773
AR 3	1,458	100	12,098	12,098	64,699	-3,400	-6,730
AR 4	1,458	100	12,098	12,098	64,699	3,400	-6,730
AR 5	4,500	100	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935
AR 6	4,500	100	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935
<b>TOTAL</b>			<b>147,24 m<sup>3</sup></b>	<b>147,24 t</b>			

Tabla 16. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de aguas residuales

#### 4.6. Tanques de agua dulce

Los tanques de agua dulce se destinan al transporte del agua necesaria para el consumo de las personas a bordo del buque proyecto y para la refrigeración de los equipos que la requieran en cámara de máquinas. Además, se dispondrá de agua dulce para el suministro a las plataformas offshore.

En el cuaderno 2, *Dimensionamiento*, se estimó el agua dulce mínima necesaria en 189 m<sup>3</sup> a partir de un consumo de 200 litros por persona y día. Como se ve en la siguiente tabla, la capacidad total de agua dulce del buque proyecto hace innecesaria la instalación de una planta potabilizadora a bordo.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
AD 1	4,500	100	42,523	42,523	64,215	-5,488	-3,274
AD 2	4,500	100	42,523	42,523	64,215	5,488	-3,274
AD 3	3,400	100	48,593	48,593	72,043	-3,400	0,130
AD 4	3,400	100	48,593	48,593	72,043	3,400	0,130
AD 5	3,400	100	49,730	49,730	66,225	-5,583	0,191
AD 6	3,400	100	49,730	49,730	66,225	5,583	0,191
AD 7	3,400	100	33,582	33,582	3,387	-8,350	0,000
AD 8	3,400	100	33,582	33,582	3,387	8,350	0,000
AD 9	3,400	100	81,151	81,151	10,579	-2,830	0,000
AD 10	3,400	100	81,151	81,151	10,579	2,830	0,000
AD 11	3,400	100	49,612	49,612	25,852	-9,963	0,000
AD 12	3,400	100	49,612	49,612	25,852	9,963	0,000
<b>TOTAL</b>			<b>610,382 m<sup>3</sup></b>	<b>610,38 t</b>			

Tabla 17. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de agua dulce

Los tanques de agua dulce para consumo humano se sitúan por encima de la 2ª Cubierta por motivos de seguridad.

#### 4.7. Tanques de servicio

Se trata de los tanques de servicio diario de combustible y aceite, sedimentación, almacén de aceite de cilindros y reboses.

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Reboses	0,700	100	6,211	5,590	59,654	2,275	-6,550
Sedimentación 1	3,400	100	34,476	31,028	48,279	-8,125	0,000
Sedimentación 2	3,400	100	34,476	31,028	48,279	8,125	0,000
Servicio diario MDF 1	3,400	100	16,161	14,545	52,244	-7,974	0,000
Servicio diario MDF 2	3,400	100	16,161	14,545	52,244	7,974	0,000

Almacén aceite cilindros 1	3,400	100	3,950	3,543	54,277	-7,747	0,000
Almacén aceite cilindros 2	3,400	100	3,950	3,543	54,277	7,747	0,000
Serv. diario ac. Cilindros 1	3,400	100	2,234	2,004	55,096	-7,656	0,000
Serv. diario ac. Cilindros 2	3,400	100	2,234	2,004	55,096	7,656	0,000

Tabla 18. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de servicio

#### 4.8. Tanques de carga

Se trata de los tanques cuyo contenido está destinado al suministro a las plataformas offshore. Los tipos de carga y sus densidades son: combustible diésel Marine Diésel Oil (MDO, 900 kg/m<sup>3</sup>), liquid mud (2500 kg/m<sup>3</sup>), carga seca (cemento, 1100 kg/m<sup>3</sup>), salmuera (920 kg/m<sup>3</sup>), metanol (800 kg/m<sup>3</sup>).

Nombre tanque	Sondeo (m)	% Full	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Capacidad (toneladas)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Salmuera	7,900	100	254,198	233,863	26,222	-4,717	-2,139
Salmuera	7,900	100	254,198	233,863	26,222	4,717	-2,139
Metanol	7,104	100	143,079	114,463	19,712	-4,720	-1,699
Metanol	7,104	100	143,079	114,463	19,712	4,720	-1,699
Liquid mud	3,400	100	104,489	261,222	10,579	-7,130	0,000
Liquid mud	3,400	100	104,489	261,222	10,579	7,130	0,000
MDO 11	3,400	100	122,102	109,892	38,204	-7,475	0,000
MDO 12	3,400	100	122,102	109,892	38,204	7,475	0,000
Liquid mud	3,400	100	50,335	125,837	40,882	-4,550	0,000
Liquid mud	3,400	100	50,335	125,837	40,882	4,550	0,000
Cemento	3,400	100	38,957	42,853	32,679	-3,279	0,000
Cemento	3,400	100	38,957	42,853	32,679	3,279	0,000
Cemento	3,400	100	38,957	42,853	22,929	0,000	0,000
Cemento	3,400	100	38,957	42,853	18,379	0,000	0,000

Tabla 19. Capacidad y centro de gravedad de los tanques de carga

## **5. Situaciones de carga preliminares**

Las situaciones de carga se analizarán en el cuaderno 12, *Situaciones de carga y resistencia longitudinal*, con el objetivo de determinar si el buque proyecto presenta los valores mínimos requeridos de estabilidad según la normativa vigente. La Circular 2/79 de la Dirección General de la Marina Mercante y el Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), indican que para determinar si se cumplen los criterios de estabilidad, se dibujarán curvas de estabilidad para las principales condiciones de carga deseadas por el armador respecto a los trabajos a realizar por el buque. Estas condiciones de carga, en el caso del buque proyecto son las siguientes:

1. Buque a la salida de viaje completamente cargado, con carga distribuida bajo cubierta y con carga detallada en posición y peso sobre la cubierta, con el total de provisiones y combustible, correspondientes a la peor condición de servicio en que se cumplen todos los criterios de estabilidad apropiados.
2. La misma condición anterior pero con el 10 % de provisiones y combustible.
3. Buque en lastre a la salida de viaje, sin carga pero con el total de provisiones y combustible.
4. Buque en lastre al rendir viaje, sin carga y con el 10 % restante de provisiones y combustible.
5. Buque en la peor condición de servicio prevista.

## **6. Esloras inundables si lo requieren los reglamentos**

Mediante el módulo Hydromax de Maxsurf se hizo un análisis de esloras inundables del buque proyecto, obteniendo el siguiente gráfico para una gama de desplazamientos entre 6000 y 9000 toneladas.

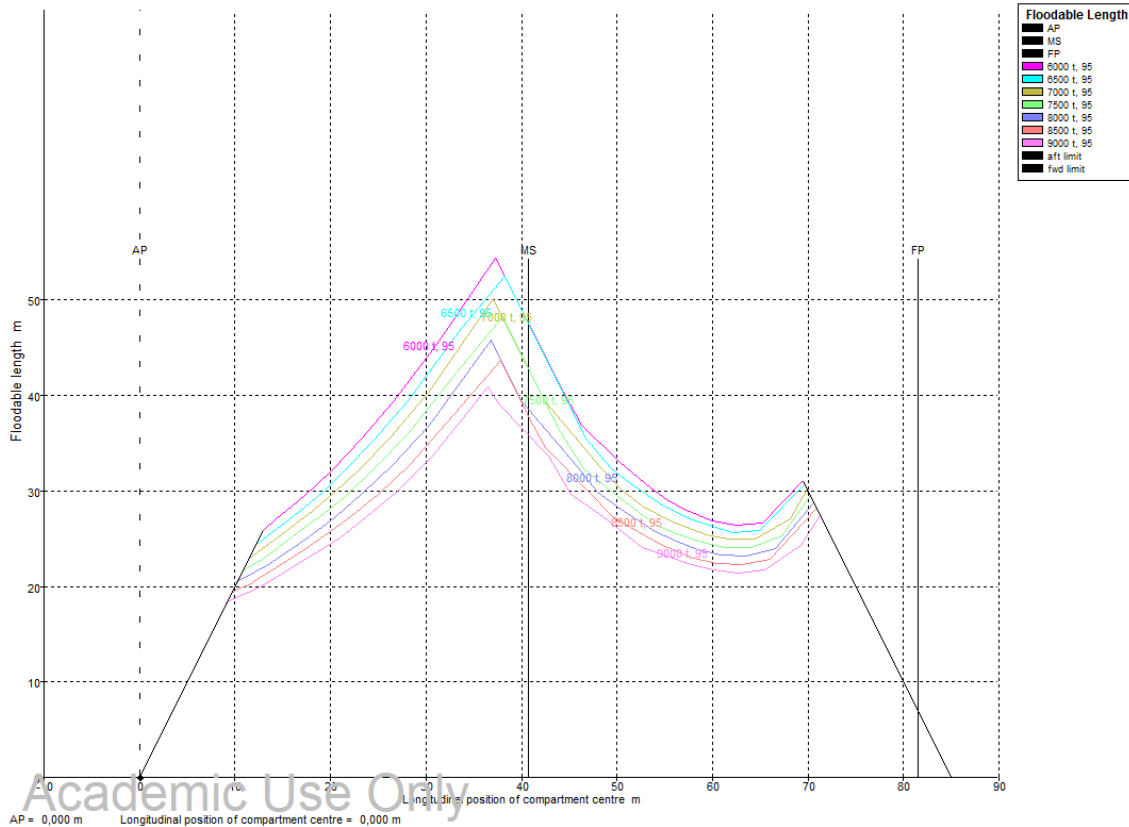


Gráfico 18. Análisis de esloras inundables del buque proyecto mediante Maxsurf

Por otro lado, el ángulo de inundación para cada desplazamiento se define como el ángulo de escora a partir del cual se inundaría el buque por la primera abertura no estanca alcanzada en el proceso de escora. En el buque de proyecto dicha abertura se encuentra en la cubierta principal (1ª Cubierta).

Teniendo en cuenta que el ángulo de escora no debe exceder de aquel que provoca el contacto de la cubierta principal con la superficie del agua, se tomará éste como ángulo límite de escora,  $\theta_s$ , para cada condición de carga.

## 7. Cálculos del francobordo y del arqueo

### 7.1. Francobordo

El francobordo será la distancia medida verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta de francobordo hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente, la cual se define por la intersección del casco con la superficie del mar para unas condiciones de carga determinadas.

La cubierta de francobordo será normalmente la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco.

El valor mínimo del francobordo se establece con el Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga de 1966 de la OMI, actualizado con el Protocolo de 1988.

La dimensión fundamental para el cálculo del francobordo es la eslora de francobordo,  $L_{Fb}$ , que se define como el mayor de estos dos valores, medidos en la flotación al 85% del mínimo puntal de trazado:

-96% de la eslora total desde el extremo de la roda hasta el extremo del codaste.

$$96\% \cdot 85,00m = 81,60m$$

-La eslora desde el extremo de la roda hasta el eje de la mecha del timón.

$$77,97m$$

Con lo que se considerará para los cálculos sucesivos una eslora de francobordo de:  $L_{Fb} = 81,60m$ .

Según el Convenio de Líneas de Carga (Capítulo III, regla 27), el buque proyecto se clasifica dentro del tipo “B”, ya que no se proyecta para transportar únicamente cargas líquidas a granel.

Este reglamento indica la forma de calcular el francobordo por medio de una serie de tablas y fórmulas, con las que se calcula el francobordo tabular o básico y varias correcciones: por eslora, puntal, etc.

#### 7.1.1. Francobordo tabular

Es el francobordo básico, función sólo del tipo de buque y de su eslora. Se interpola el valor,  $L_{Fb} = 81,60m$ , en la tabla de francobordo para buques de tipo “B” de la regla 28 del Convenio de Líneas de Carga, obteniéndose:

Eslora (m)	Francobordo (mm)
81,00	905
81,60	916
82,00	923

Tabla 20. Francobordo tabular

$$FBT = 916 \text{ mm}$$

### 7.1.2. Corrección por eslora menor de 100 metros

Según la regla 29 del Convenio, el francobordo tabular para buques de tipo 'B', de eslora comprendida entre 24 y 100 metros con superestructuras cerradas de una longitud efectiva de hasta el 35% de la eslora, se incrementará en la siguiente cantidad:

$$C_L = 7,5 \cdot (100 - L_{Fb}) \cdot \left(0,35 - \frac{E_i}{L_{Fb}}\right)$$

siendo  $L_{Fb}$  la eslora del buque en metros y  $E_i$  la longitud efectiva de las superestructuras también en metros.

Sin embargo, al ser la longitud de las superestructuras 26,65 metros (superestructura entre las cuadernas 68 y 109), no es necesario hacer esta corrección.

### 7.1.3. Corrección por coeficiente de bloque

El francobordo tabular debe modificarse mediante ésta corrección cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0,68. Como el buque proyecto tiene un coeficiente de bloque de 0,608 no es necesario hacer este paso.

### 7.1.4. Corrección por puntal

Si el puntal del buque excede de  $L/15$ , el francobordo se aumenta en:

$$C_D = \left(D - \frac{L_{Fb}}{15}\right) \cdot R$$

siendo, para buques con eslora menor de 120 metros:  $R = \frac{L_{Fb}}{0,48}$

El puntal del buque proyecto es  $D = 9,40m$  y, al ser  $\frac{81,60m}{15} > 9,40$  se obtiene como resultado del cálculo de la corrección:

$$C_D = \left(9,40m - \frac{81,60m}{15}\right) \cdot \frac{81,60m}{0,48} = \mathbf{673mm}$$

### 7.1.5. Corrección por superestructuras

La regla 37 del Convenio expone que cuando la longitud total efectiva de superestructuras y troncos sea igual a 1 L, la reducción del francobordo será de 860 mm para 85 metros de eslora. No obstante, si la longitud de las superestructuras, E, es inferior a una eslora, la reducción del francobordo será un porcentaje obtenido por interpolación lineal de la siguiente tabla:



<b>E/L<sub>Fb</sub></b>	0,300	0,327	0,400
<b>Porcentaje de reducción</b>	15%	P	23,5%

Tabla 21. Corrección por superestructuras

Por lo que la corrección por superestructuras será un porcentaje P (17,3%) de la eslora de francobordo (81,60 m):

$$C_s = 17,3\% \cdot 916\text{mm} = \mathbf{158,5\text{ mm}}$$

#### 7.1.6. Corrección por el arrufo

Como dice la regla 38 del Convenio, en los buques de cubierta corrida el arrufo se medirá en la cubierta de francobordo, obteniendo las ordenadas de la curva de arrufo normal a partir de la tabla 38.1 de esa regla.

	<b>Situación</b>	<b>Ordenada (mm)</b>	<b>Factor</b>	<b>Producto(mm)</b>
<b>Mitad de popa</b>	Perpendicular de popa	930	1	930
	1/6L desde la p. de Pp.	413	3	1239
	1/3L desde la p. de Pp.	104	3	312
	Centro del buque	0	1	0
			<b>SUMA</b>	<b>2481</b>
<b>Mitad de proa</b>	Centro del buque	0	1	0
	1/3L desde la p. de Pr.	208	3	624
	1/6L desde la p. de Pr.	826	3	2478
	Perpendicular de proa	1860	1	1860
			<b>SUMA</b>	<b>4962</b>

Tabla 22. Corrección por arrufo

El buque proyecto presenta una cubierta con arrufo en popa, por lo que ésta corrección queda de la siguiente manera:

$$\text{Defecto de arrufo en popa} = \frac{(187 - 2481)\text{mm}}{8} = -287\text{mm}$$

$$\text{Defecto de arrufo en proa} = \frac{(0 - 4962)\text{mm}}{8} = -620\text{mm}$$

$$\text{Defecto de arrufo en cubierta} = \frac{-(287 + 620)\text{mm}}{8} = -113\text{mm}$$

La media aritmética de los valores así obtenidos expresa el defecto de arrufo de la cubierta (apartado 9 de la regla 38):

$$D_{\text{Arrufo}} = \frac{(-287 - 620 - 113)\text{mm}}{3} = -340\text{mm}$$

La corrección por arrufo deberá ser el defecto de arrufo,  $D_{\text{Arrufo}}$ , multiplicado por:

$$0,75 \cdot \frac{E_i}{2 \cdot L_{Fb}}$$

siendo  $E_i$  la longitud total de las superestructuras cerradas en metros, 26,65 metros. Operando se obtiene la siguiente corrección por arrufo:

$$C_A = D_{Arrufo} \cdot 0,75 \cdot \frac{E_i}{2 \cdot L_{Fb}} = -340mm \cdot 0,75 \cdot \frac{26,65m}{2 \cdot 81,60m} = \mathbf{41,6\ mm}$$

### 7.1.7. Francobordo total

La regla 40 del Convenio de Líneas de Carga indica los francobordos mínimos, que para el buque proyecto se indican a continuación.

El francobordo de verano es la resultante del francobordo tabular con las correcciones indicadas.

$$\begin{aligned} FB_{verano} &= (FBT + C_L) \cdot C_{Cb} + C_D - C_S + C_A \\ &= 916mm + 673mm - 158,5mm + 41,6mm = \mathbf{1472,1mm} \end{aligned}$$

El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del francobordo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

$$FB_{tropical} = FB_{verano} - \frac{1}{48} \cdot T = 1472,1mm - \frac{1}{48} \cdot 7700m = \mathbf{1311,7mm}$$

El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

$$FB_{invierno} = FB_{verano} + \frac{1}{48} \cdot T = 1472,1mm + \frac{1}{48} \cdot 7700m = \mathbf{1632,5mm}$$

El francobordo mínimo de invierno en el Atlántico Norte, para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte, será el francobordo de invierno más 50 mm.

$$FB_{AN} = FB_{invierno} + 50mm = 1632,5mm + 50mm = \mathbf{1682,5mm}$$

El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtiene restando del francobordo mínimo en agua salada el valor  $\frac{\Delta}{40 \cdot TCI}$ , por lo que:

$$FB_{agua\ dulce} = FB_{verano} - \frac{\Delta}{40 \cdot TCI} = 147,21cm - \frac{8482t}{40 \cdot 14,87 \frac{t}{cm}} = \mathbf{132,95cm}$$

Como conclusión se obtiene la siguiente tabla de francobordos del buque proyecto:

Francobordos (mm)	
Verano	1472,1
Tropical	1311,7
Invierno	1632,5
Atlántico Norte	1682,5
Agua dulce	1329,5

Tabla 23. Tabla de francobordos

### 7.1.8. Altura mínima en proa

El Convenio sugiere en la regla 39 que la altura de proa, definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$h_{pr} = \left( 6075 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right) - 1875 \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right)^3 \right) \cdot \left( 2,08 + 0,609 \cdot C_b - 1,603 C_f - 0,0129 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{d_i} \right) \right)$$

siendo  $L_{Fb}$  la eslora del buque en metros,  $C_b$  el coeficiente de bloque,  $C_f$  el coeficiente del área de la flotación y  $d_i$  el calado en el 85% del puntal mínimo de trazado en metros.

Haciendo el cálculo se obtiene la altura mínima en proa:

$$\begin{aligned} h_{pr} &= \left( 6075 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right) - 1875 \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{100} \right)^3 \right) \cdot \left( 2,08 + 0,609 \cdot C_b - 1,603 C_f - 0,0129 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{d_i} \right) \right) \\ &= \left( 6075 \cdot \left( \frac{81,60m}{100} \right) - 1875 \left( \frac{81,60m}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left( \frac{81,60m}{100} \right)^3 \right) \cdot \left( 2,08 + 0,609 \cdot 0,608 - 1,603 \cdot 0,82 - 0,0129 \cdot \left( \frac{81,60m}{8m} \right) \right) \\ &= \mathbf{3833,5mm} \end{aligned}$$

Como dice el apartado 5 de la regla 39, todos los buques a los que se les haya asignado un francobordo de tipo "B", salvo los petroleros, quimiqueros y gaseros, tendrán una flotabilidad de reserva adicional en el extremo proel. En la sección delimitada por 0,15  $L_{Fb}$  a popa de la perpendicular de proa, la suma del área proyectada

entre la flotación en carga de verano y el borde de la cubierta (A1 y A2 en la figura) y el área proyectada de una superestructura cerrada (A3), si existe, no será inferior a:

$$\begin{aligned}
 \text{Reserva de flotabilidad} &= \\
 &= \left( 0,15 \cdot FB_{\text{verano}} + 4 \cdot \left( \frac{L_{Fb}}{3} + 10 \right) \right) \\
 &\cdot \frac{L_{Fb}}{1000} = \left( 0,15 \cdot 1472,1mm + 4 \cdot \left( \frac{81,60m}{3} + 10 \right) \right) \cdot \frac{81,60m}{1000} \\
 &= 30,2m^2
 \end{aligned}$$

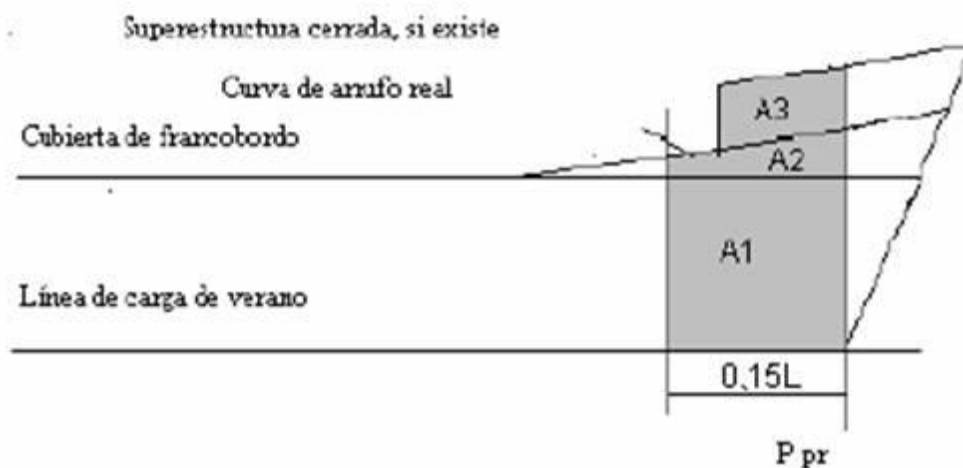


Figura 4. Reserva de flotabilidad

Este mínimo se supera con creces, al estar la superestructura situada en la parte de proa del buque proyecto.

## 7.2. Arqueo

El concepto de arqueo indica el tamaño de un buque y se emplea para determinar reglamentariamente muchas de sus características técnicas y para aplicar las tarifas de uso de puertos, canales, remolcadores, etc.

El arqueo se calcula por el Convenio Internacional sobre arqueo de buques (Convenio 1969), firmado en Londres el 23 de Junio de 1969 por los países representados en la OMI.

Para el cálculo del arqueo hay que ver qué espacios se consideran abiertos y cuáles cerrados. Según el Convenio 1969, se consideran espacio cerrados todos los limitados por el casco del buque por mamparos fijos o móviles y por cubiertas o techos que no sean toldos permanentes o móviles. Ninguna interrupción en una cubierta, ni abertura alguna en el casco del buque, en una cubierta o en el techo de un espacio, ni

tampoco la ausencia de mamparos impedirá la consideración de un espacio como espacio cerrado. Por ejemplo, el guardacalor se considera espacio abierto.

### 7.2.1 Arqueo bruto

Como indica la regla 3 del Anexo I, el arque bruto de un buque (GT) se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$GT = K_1 \cdot V$$

en la cual V es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque en metros cúbicos, 20762 m<sup>3</sup>, y  $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V$ .

$\text{Arqueo bruto} = GT = (0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 20762) \cdot 20762 = \mathbf{5945}$
---

### 7.2.2 Arqueo neto

Según la regla 4 del Anexo I el arque neto (NT) de un buque se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$NT = K_2 V_c \left( \frac{4T}{3D} \right)^2 + K_3 \left( N_1 + \left( \frac{N_2}{10} \right) \right)$$

en la cual:

- El factor  $\left( \frac{4T}{3D} \right)^2$  no se tomará superior a 1.
- El término  $K_2 V_c \left( \frac{4T}{3D} \right)^2$  no se tomará inferior a  $0,25 \cdot GT$ .
- NT no se tomará inferior a  $0,30 \cdot GT$ .
- $V_c$  es el volumen total de los espacios de carga en metros cúbicos (8312 m<sup>3</sup>).
- $K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_c$ .
- $K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT+10000}{10000}$ .
- D es el puntal de trazado en el centro del buque, expresado en metros. ( $D = 9,40m$ )
- T es el calado de trazado en el centro del buque, expresado en metros. ( $T = 7,70m$ )
- N1 es el número de pasajeros en camarotes que no tengan más de ocho literas. ( $N1 = 45$ )
- N2 es el número de los demás pasajeros. ( $N2 = 0$ )
- N1+N2 es el número total de pasajeros que el buque está autorizado a llevar según el certificado de pasajeros del buque.

Se comprueban las restricciones:

- $\left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = 1,1929 > 1$ , por lo que se toma como valor de ese factor 1.
- $K_2 V_c \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = \geq 0,25 \cdot GT$ .
- $NT \geq 0,30 \cdot GT$ .

$$\text{Arqueo neto} = NT = (0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 8312) \cdot 8312 + 1,25 \cdot \frac{5945 + 10000}{10000} 45 = \mathbf{2403,7}$$



## **8. Bibliografía general.**

### **8.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Apuntes Hidrostática y Estabilidad. ETSIN.
- [5] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [9] *Convenio SOLAS*. OMI.
- [10] *Convenio MARPOL*. OMI.
- [10] *Protocolo de 1988 relativo al Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966*. OMI.
- [11] *Convenio de 23 de Junio de 1969 sobre arqueo de buques*.
- [11] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.

### **8.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Stril Orion. <> <http://www.mokster.no/>

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 6**

**Cálculo de potencia y proyecto de propulsores**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor:* **José María Riola Rodríguez**



## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Cálculo de la resistencia al avance y la potencia efectiva .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Definición y características de los propulsores .....</b>	<b>6</b>
3.1. Tipo de propulsores .....	6
3.2. Número de máquinas propulsoras y sentido de giro de las hélices .....	8
3.3. Cálculo de potencia de los propulsores .....	9
3.3.1. Rendimiento de la hélice en aguas libres, $\eta_0$ .....	9
3.3.2. Rendimiento rotativo relativo, $\eta_r$ .....	9
3.3.3. Obtención de los coeficientes propulsivos de estela efectiva, w, y de succión, t.....	10
3.3.4. Rendimiento cuasi-propulsivo, $\eta_D$ .....	10
3.3.5. Potencia entregada a la hélice, DHP .....	10
3.4. Características técnicas de los propulsores.....	11
<b>4. Proyecto de hélices por series sistemáticas.....</b>	<b>16</b>
4.1. Tipo de hélices y número de palas, Z.....	17
4.2. Procedimiento de cálculo .....	17
4.2.1. Primer paso .....	18
4.2.2. Segundo paso .....	20
4.2.3. Conclusión y resultados .....	21
<b>5. Cálculo de maniobrabilidad y de las características principales de los timones.</b>	
<b>Potencia del servo .....</b>	<b>22</b>
5.1. Criterios de maniobrabilidad del buque .....	23
5.1.1. Criterios mínimos aceptables de facilidad de evolución .....	23
5.1.2. Criterios mínimos aceptables de facilidad de cambio de rumbo .....	24
5.1.3. Criterios mínimos aceptables de estabilidad de ruta .....	24
5.1.4. Facilidad de parada .....	25
5.2. Sistema de posicionamiento dinámico .....	25
5.3. Propulsores transversales de proa.....	27
<b>6. Croquis del perfil del codaste con propulsores y timones.....</b>	<b>32</b>
<b>7. Bibliografía general .....</b>	<b>33</b>
7.1. Bibliografía básica.....	33
7.2. Bibliografía complementaria .....	33

## **Figuras**

Figura 1. Imagen del propulsor Azipod.....	3
Figura 2. Sistema completo de propulsión Azipod y planta eléctrica .....	12
Figura 3. Plano de los propulsores Azipod CO con las cotas principales .....	13
Figura 4. Elementos funcionales de los Azipod CO.....	14
Figura 5. Vista del codaste de un buque con la popa similar al buque proyecto.....	21
Figura 6. Características de maniobrabilidad .....	22
Figura 7. Trabajos de suministro en una plataforma offshore .....	26
Figura 8. Área lateral proyectada del buque proyecto.....	28
Figura 9. Reparto de empuje de propulsores en posicionamiento dinámico .....	30
Figura 10. Perfil del thruster de proa con las dimensiones principales .....	31

## **Tablas**

Tabla 1. Resistencia obtenida con el método de Holtrop .....	4
Tabla 2. Potencia efectiva obtenida con el método de Holtrop .....	5
Tabla 3. Características técnicas de los propulsores Azipod CO .....	12
Tabla 4. Dimensiones principales de los propulsores Azipod CO .....	13
Tabla 5. Características de la serie B de Wageningen.....	16
Tabla 6. Datos para el diseño de las hélices por series sistemáticas .....	17
Tabla 7. $\eta_0$ y H/D para cada rpm y relación área/disco .....	19
Tabla 8. $\delta$ , $B_P$ , $\eta_0$ y H/D para cada rpm y relación área/disco 0,701 .....	20
Tabla 9. Características de las hélices proyectadas por series sistemáticas .....	21
Tabla 10. Ventajas y desventajas del sistema de posicionamiento dinámico.....	27
Tabla 11. Características técnicas de los thruster de proa .....	31

## **Gráficos**

Gráfico 1. Resistencia en función de la velocidad.....	5
Gráfico 2. Potencia efectiva en función de la velocidad .....	6
Gráfico 3. Potencia entregada en función de la velocidad .....	11
Gráfico 4. Curvas $\eta_0$ -n y H/D-n para $A_D/A_0=0,801$ .....	19
Gráfico 5. Curvas $\eta_0$ -n y H/D-n para $A_D/A_0=0,701$ .....	20

## **1. Introducción**

El cuaderno 6 tiene como finalidad determinar la potencia propulsora, detallando el número y las características de los propulsores, además de hacer un cálculo de maniobrabilidad. El sistema de propulsión del buque proyecto es diésel-eléctrica, como se indica en las especificaciones, lo que se deberá tener en cuenta por su influencia en el desarrollo del cuaderno.

Para el cálculo de la potencia necesaria, las especificaciones exigen que la velocidad de servicio sea 17 nudos al 90% MCR. La resistencia al avance a esa velocidad, unida a la posibilidad de tener que desarrollar tracción a punto fijo, serán las exigencias para estimar la potencia de la planta propulsora.

Se recuerdan las exigencias de las especificaciones del proyecto:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Una vez hecho el cálculo de potencia, se proyectan los propulsores adecuados para las formas y la velocidad de servicio del buque. La optimización de los propulsores mediante el diseño de las hélices por series sistemáticas, junto con unas formas lo más hidrodinámicas posibles, disminuyen la potencia necesaria, lo cual reduce el peso, empacho y precio de la planta propulsora, además del consumo de combustible.

Por otra parte, el estudio de la maniobrabilidad deberá hacer hincapié en las exigencias de equipar al buque con un sistema de posicionamiento dinámico nivel 2.

Las conclusiones y resultados obtenidos en este cuaderno proporcionarán la información útil para hacer, en el cuaderno 7, la elección adecuada de los generadores de energía que suministren la potencia necesaria al buque proyecto.

## **2. Cálculo de la resistencia al avance y la potencia efectiva**

El problema a resolver en esta etapa es la selección de la maquinaria propulsora, para lo cual se requiere la estimación de la resistencia al avance y la definición del número y de las características principales de los propulsores para, finalmente, seleccionar la instalación propulsora.

En el cuaderno 2, Dimensionamiento, se hizo una primera estimación de la potencia propulsora a la velocidad de proyecto del buque, obteniendo como resultado aproximado 12000 CV (8830 kW). No obstante, se realiza otro cálculo de la resistencia al avance y la potencia propulsora necesaria empleando las formas desarrolladas en el cuaderno 3. Para ello se emplea el módulo Hullspeed del programa Maxsurf, el cual permite, una vez importadas las formas del buque proyecto, hacer esos cálculos siguiendo el **método de Holtrop**. Éste es un método estadístico, cuyo planteamiento se basa en la teoría de resistencia por formación de olas.

Los cálculos se hacen en aguas tranquilas y, por ello, si se quiere considerar el estado de la mar y las incrustaciones acumuladas en el casco a lo largo del tiempo, hay que añadir un incremento porcentual a las necesidades de potencia. Este incremento se valora para el buque proyecto en un 15%. Los datos que se extraen de este desarrollo son la resistencia total al avance,  $R_T$ , que si se multiplica por la velocidad del buque,  $v$ , se obtiene el valor de la potencia de remolque o potencia efectiva, EHP (Effective Horse Power), que es sólo función de la carena.

V (n)	$R_T$ (kN)	$R_{T+15\%}$ (kN)	V (n)	$R_T$ (kN)	$R_{T+15\%}$ (kN)
0,5	0,1	0,1	10,5	528,0	607,2
1	0,6	0,7	11	615,5	707,8
1,5	1,9	2,1	11,5	717,8	825,4
2	4,3	4,9	12	839,1	964,9
2,5	8,1	9,3	12,5	984,6	1132,3
3	13,7	15,8	13	1158,3	1332,0
3,5	21,4	24,6	13,5	1363,2	1567,7
4	31,4	36,1	14	1608,9	1850,2
4,5	44,1	50,7	14,5	1916,7	2204,2
5	59,7	68,7	15	2315,6	2663,0
5,5	78,7	90,5	15,5	2829,5	3253,9
6	101,1	116,3	16	3459,5	3978,4
6,5	127,4	146,6	16,5	4176,0	4802,4
7	157,9	181,6	17	4933,4	5673,5
7,5	192,8	221,7	17,5	5699,3	6554,2
8	232,6	267,5	18	6476,4	7447,9
8,5	277,7	319,3	18,5	7303,9	8399,4
9	328,7	378,0	19	8246,4	9483,3
9,5	386,6	444,6	19,5	9384,2	10791,8
10	452,5	520,3	20	10809,2	12430,6

*Tabla1. Resistencia obtenida con el método de Holtrop*

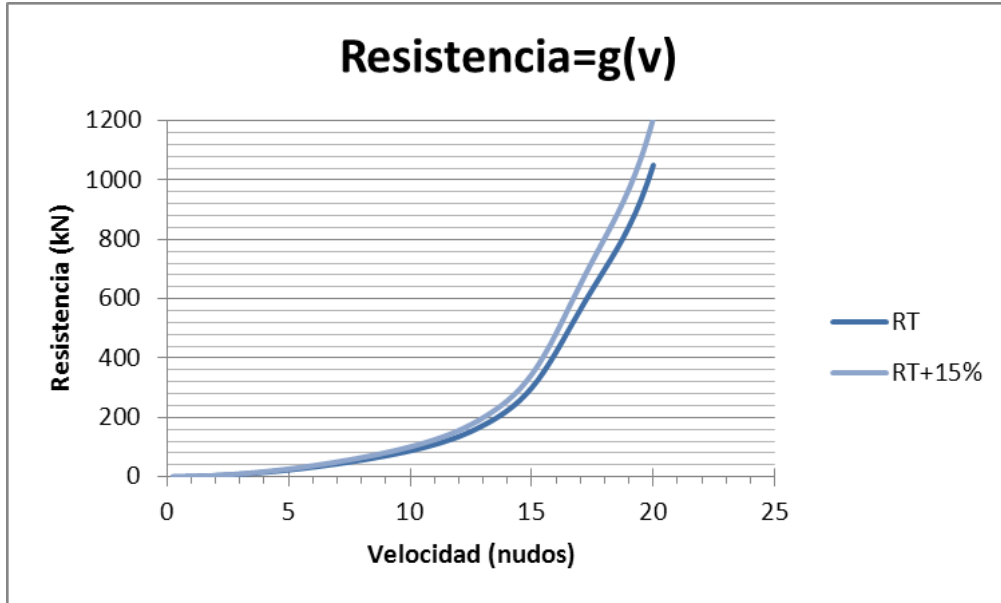


Gráfico 1. Resistencia en función de la velocidad

A la velocidad de proyecto, 17 nudos, la resistencia del buque proyecto es de 561,1 kN en aguas tranquilas y 645,2 kN con el incremento por el estado de la mar y por las incrustaciones marinas (15%).

Los valores de la potencia efectiva, EHP, se muestran en esta otra tabla y gráfico y se define como el producto de la resistencia total al avance y la velocidad del buque:

V (n)	EHP (kW)	EHP+15% (kW)	V (n)	EHP (kW)	EHP+15% (kW)
0,5	0,1	0,1	10,5	528	607
1	0,6	0,7	11	615	708
1,5	1,9	2,1	11,5	718	825
2	4,3	4,9	12	839	965
2,5	8,1	9,3	12,5	985	1132
3	13,7	15,8	13	1158	1332
3,5	21,4	24,6	13,5	1363	1568
4	31,4	36,1	14	1609	1850
4,5	44,1	50,7	14,5	1917	2204
5	59,7	68,7	15	2316	2663
5,5	78,7	90,5	15,5	2829	3254
6	101	116	16	3459	3978
6,5	127	147	16,5	4176	4802
7	158	182	17	4933	5673
7,5	193	222	17,5	5699	6554
8	233	267	18	6476	7448
8,5	278	319	18,5	7304	8399
9	329	378	19	8246	9483
9,5	387	445	19,5	9384	10792
10	452	520	20	10809	12431

Tabla 2. Potencia efectiva obtenida con el método de Holtrop

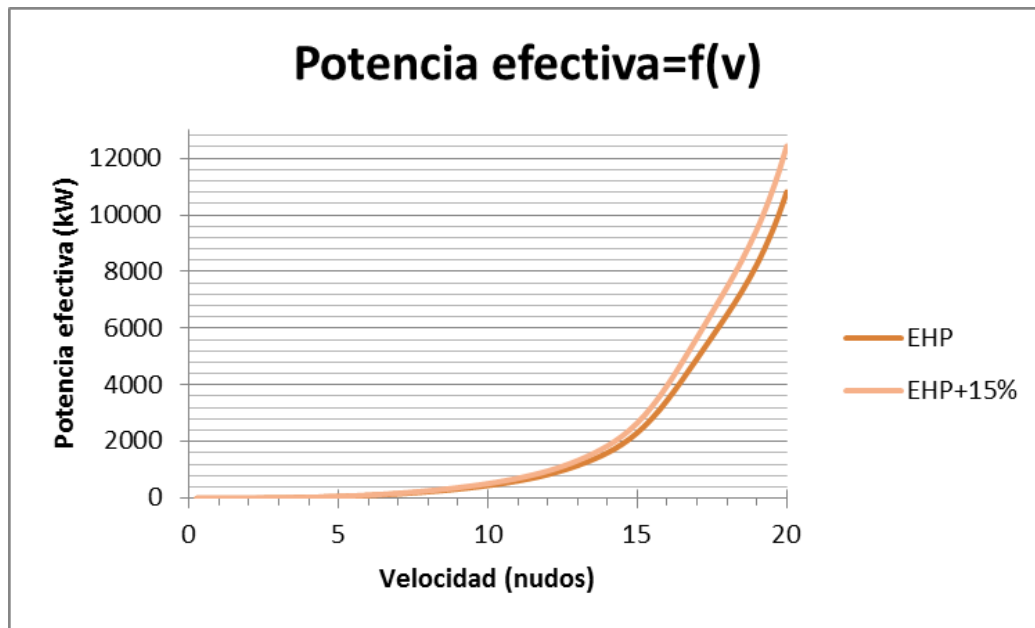


Gráfico 2. Potencia efectiva en función de la velocidad

Para una velocidad de 17 nudos, la potencia efectiva obtenida con Hullspeed es 4907 kW en aguas tranquilas y 5643 kW en condiciones de mar, añadiendo un 15%.

Se puede observar que el resultado del cálculo de la potencia efectiva empleando el método de Holtrop es menor que el estimado en el cuaderno 2. En ese cuaderno se estimó la potencia a partir de una aproximación con el tiro a punto fijo. A estas alturas del proyecto ya se dispone de unas formas del casco totalmente acabadas y con las que es posible trabajar para hacer los cálculos oportunos de resistencia. Es por ello por lo que los datos obtenidos con el método de Holtrop se consideran más decisivos para continuar con el desarrollo del buque proyecto.

### **3. Definición y características de los propulsores**

#### **3.1. Tipo de propulsores**

Como se ha comentado en varias ocasiones, las especificaciones del proyecto exigen instalar un sistema de propulsión diesel-eléctrico y dotar al buque de un sistema de posicionamiento dinámico nivel 2 (DP (AA) según la notación de Lloyd's Register). Este hecho influye notablemente en el tipo de propulsión a elegir, puesto que no se equipará al buque con motores directamente acoplados a la línea de ejes, sino que se buscará una solución con propulsores del tipo acimutal.

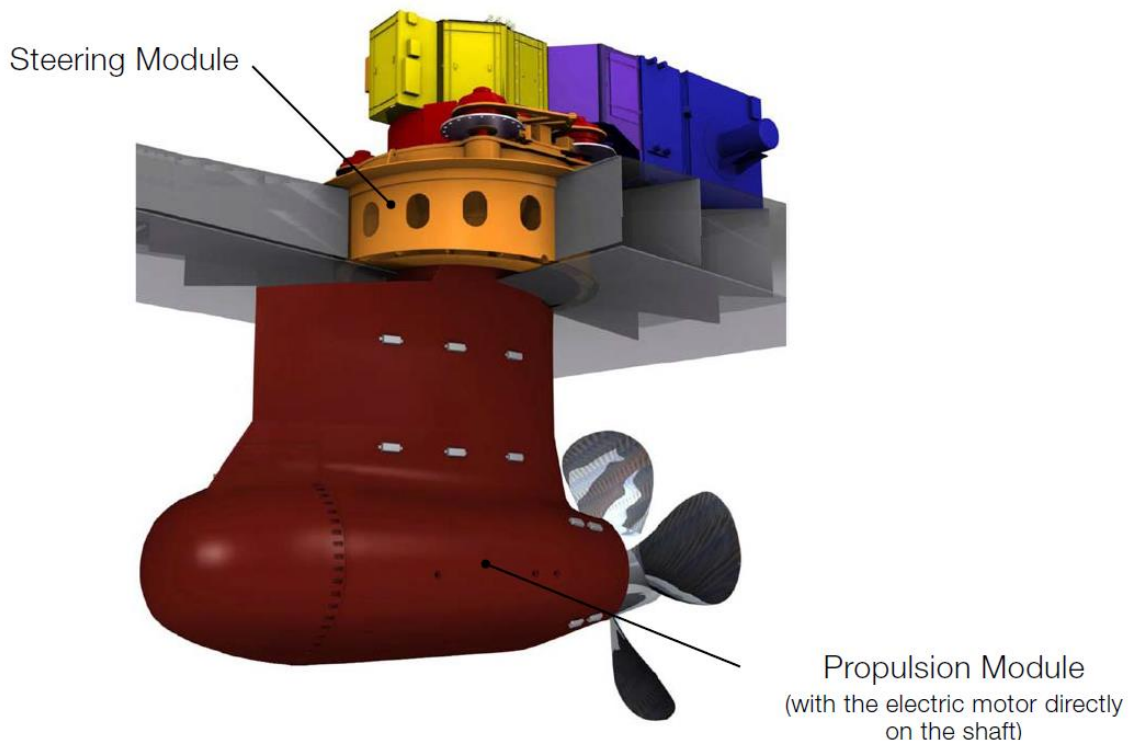
Una de las ventajas de esta configuración frente a la propulsión convencional hélice-timón es que se eliminan las largas líneas de ejes, chumaceras, bocinas, etc. y todo ese espacio puede dedicarse a carga útil en el barco. No obstante, la instalación y mantenimiento de propulsores acimutales como parte del sistema de propulsión es más compleja que el sistema de propulsión convencional.

La cámara de máquinas, a proa del buque, quedará aislada de los equipos propulsores situados en popa, y generará la energía eléctrica necesaria para todos los servicios del buque, incluyendo la propulsión.

Las opciones de propulsores acimutales que más a fondo se estudiaron fueron del tipo acimutal con tobera o unos tipo POD. Finalmente se prefirió instalar sendas unidades Azipod (nombre comercial de los PODs del grupo ABB), debido a que la velocidad de proyecto son 17 nudos y con los propulsores acimutales con tobera puede que conseguir esa velocidad sea más difícil y se tengan problemas relacionados con mayor resistencia al avance y cavitación.

En un POD el motor eléctrico que acciona la hélice está alojado dentro del propulsor, que tiene forma hidrodinámica y cuelga del casco a través de un arbotante. La corriente eléctrica llega a los motores mediante cables que bajan a través del arbotante y se transmite la potencia a la hélice por medio de un eje muy corto. La unidad completa puede girar 360° según un eje vertical mediante un servomotor de dentro del buque, consiguiéndose de esta forma empuje en cualquier dirección.

Los PODs cuentan con varios modos de operación. Si el buque está en navegación normal, conectado generalmente al piloto automático, los PODs restringen su movimiento a unos 35° de la línea de crujía a ambas bandas. En cambio, si se está maniobrando o con el posicionamiento dinámico activado, los PODs pueden configurarse para bloquear una unidad adelante-atrás y otra babor-estribor y así controlar todos los movimientos del buque. Además existe incluso la opción de dejar los PODs libres para poder girar y suministrar empuje con la orientación que se desee.



*Figura 1. Imagen del propulsor Azipod*

Al elegir los Azipod como equipos propulsores del buque proyecto, además de conseguir una maniobrabilidad muy buena, se hace innecesario instalar, tanto hélices transversales en popa para los requerimientos del posicionamiento dinámico, como timones para las necesidades de maniobrabilidad.

Otro de los beneficios importantes de este sistema es que se reduce el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **3.2. Número de máquinas propulsoras y sentido de giro de las hélices**

Se decide equipar al buque proyecto con dos unidades Azipod, lo cual coincide con la elección más común de instalar sendos propulsores en este tipo de buques. Las ventajas de esta elección incluyen:

- Mejoran las cualidades de maniobrabilidad.

- La duplicidad de los equipos aumenta la seguridad del buque, debido a que aún fallando uno de los equipos, el buque puede continuar en operación.

- El reparto de empuje entre las dos unidades permite diseñar las hélices con un diámetro menor, lo cual es necesario en este tipo de buques debido al calado reducido que suelen requerir.

- El flujo de agua a las hélices es bastante mejor que con una sola en crujía, ya que éstas suelen quedar fuera de la capa límite.

En cuanto al sentido de giro de las hélices, la mayor influencia que ejerce en un buque con dos propulsores se deriva de la excentricidad del punto de aplicación del empuje:

- Cuando las hélices giran hacia fuera, el punto de aplicación se sitúa hacia fuera de los ejes. La ventaja que ello ofrece es que el par de fuerzas que pueden ejercer es ligeramente mayor y mejora la capacidad de cambio de rumbo.

- Cuando las hélices giran hacia dentro, el punto de aplicación se sitúa hacia dentro de los ejes. La ventaja que ello ofrece, comparado con el punto anterior, es que suelen tener un mayor rendimiento.

También debe tenerse en cuenta, a la hora de decidir el sentido de rotación de las hélices, la configuración del campo de estelas transversal del buque proyecto, debido a que se puede recuperar parte de la energía inicial de rotación del agua y obtenerse rendimientos propulsivos algo mayores.

Se decide para el buque proyecto que las hélices giren hacia dentro, ya que mediante la propulsión Azipod se tiene la posibilidad de orientar el empuje en la dirección deseada.



### 3.3. Cálculo de potencia de los propulsores

La potencia efectiva, EHP, obtenida mediante el método de Holtrop en el apartado 2, es función exclusivamente de la velocidad deseada y de la carena. Esto es, cuando un buque está siendo remolcado sin funcionar sus propulsores, la potencia necesaria para remolcar el buque a cierta velocidad es la potencia efectiva o de remolque, EHP. Por lo tanto, la potencia que deben desarrollar los propulsores es diferente de la EHP, debido a que se deben tener en cuenta las interacciones entre las hélices y la carena.

Lo que se hará en este apartado es una primera estimación de la potencia entregada a la hélice, DHP (Delivered Horse Power), para así poder elegir el modelo adecuado de los propulsores Azipod.

Para obtener la DHP se estudia, mediante el rendimiento de la hélice en aguas libres, el rotativo relativo y el cuasi-propulsivo, el cambio del paso de la curva de potencia efectiva a la de potencia entregada.

#### 3.3.1. Rendimiento de la hélice en aguas libres, $\eta_0$

Éste es el rendimiento del propulsor aislado, sin las perturbaciones producidas por la carena del buque. Su valor se obtiene de dividir la potencia que desarrolla el propulsor entre la potencia que recibe su eje cuando está en aguas libres.

Se va a considerar en esta primera estimación que el valor aproximado del rendimiento del propulsor aislado es:

$$\eta_0 = 0,65$$

#### 3.3.2. Rendimiento rotativo relativo, $\eta_r$

Se define rendimiento rotativo relativo como la división entre el rendimiento de la hélice detrás de la carena,  $\eta_B$ , y el rendimiento de la hélice en aguas libres,  $\eta_0$ :

$$\eta_r = \frac{\eta_B}{\eta_0}$$

Para buques de dos hélices pueden considerarse como valores normales de  $\eta_r$  los siguientes:

$$0,95 < \eta_r < 1,0$$

Se decide, dada la forma de la popa del buque proyecto, que el rendimiento rotativo relativo tenga el valor:

$$\eta_r = 0,975$$

### 3.3.3. Obtención de los coeficientes propulsivos de estela efectiva, $w$ , y de succión, $t$

El coeficiente de estela efectiva,  $w$ , representa el valor medio de la estela en el disco de la hélice cuando está funcionando. Se puede estimar su valor mediante la fórmula de Taylor para buques de dos hélices:

$$w = 0,55 \cdot C_B - 0,20 = 0,55 \cdot 0,608 - 0,20 = 0,1344$$

El coeficiente de succión,  $t$ , representa la acción de la succión, que consiste en un aumento de la resistencia al avance de la carena respecto a la que tendría si no estuviera presente la hélice. La velocidad del flujo aumenta en esa zona, con lo que la presión disminuye y, en consecuencia, la resistencia de presión aumenta. Dicho aumento de velocidad produce también un aumento de la resistencia de fricción. Se puede obtener, también mediante las fórmulas de Taylor, un valor para el coeficiente de succión en buques de dos hélices:

$$t = 0,7 \cdot w + 0,06 = 0,1541$$

Con estos dos coeficientes puede obtenerse el valor  $\frac{1-t}{1-w}$  que se denomina rendimiento del casco,  $\eta_H$ .

$$\eta_H = \frac{1 - 0,1541}{1 - 0,1344} = 0,977$$

### 3.3.4. Rendimiento cuasi-propulsivo, $\eta_D$

El rendimiento cuasi-propulsivo sólo tiene en cuenta elementos hidrodinámicos y es, por lo tanto, independiente del tipo de maquinaria propulsora. Se puede expresar de la siguiente forma:

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_r = \frac{1 - t}{1 - w} \cdot \eta_0 \cdot \eta_r = 0,977 \cdot 0,65 \cdot 0,975 = 0,62$$

### 3.3.5. Potencia entregada a la hélice, DHP

Una vez obtenido el rendimiento cuasi-propulsivo se puede calcular la potencia entregada a la hélice, DHP, mediante su relación con la potencia efectiva, EHP.

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_0 \cdot \eta_r \cdot \eta_H} = \frac{EHP}{\eta_D} = \frac{EHP}{0,62}$$

Se muestra en este gráfico la curva de DHP frente a la velocidad tanto en aguas tranquilas como con el incremento del 15% por el estado de la mar y las incrustaciones.

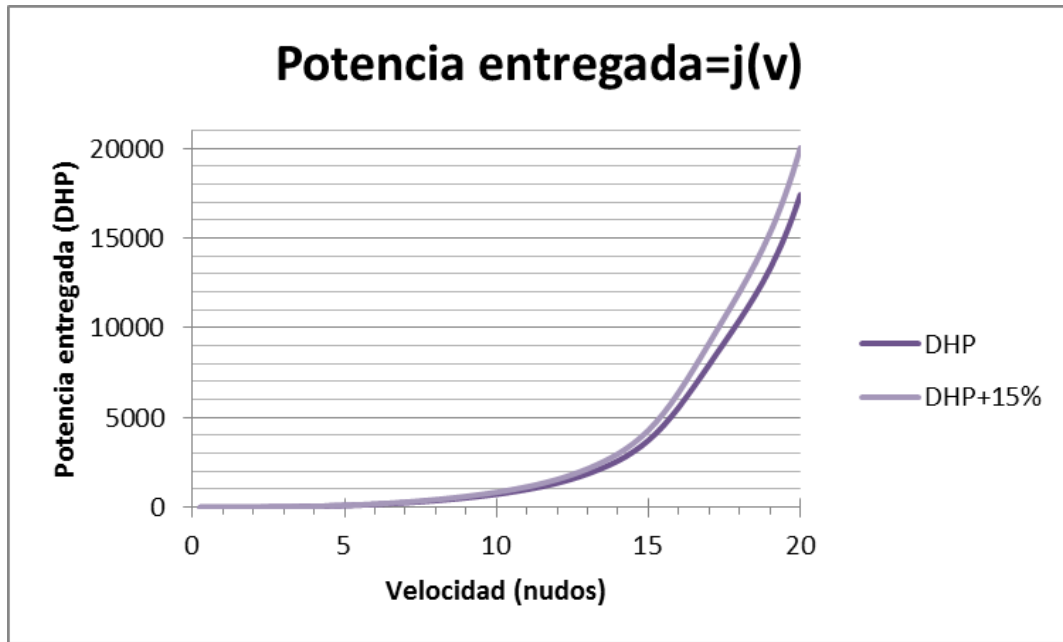


Gráfico 3. Potencia entregada en función de la velocidad

Para la velocidad de 17 nudos, que exigen las especificaciones, la estimación de la potencia entregada a la hélice, DHP, es 7957 kW y 9150 kW en aguas tranquilas y con margen de mar (15%) respectivamente.

Esa potencia es la que deben tener ambos propulsores Azipod conjuntamente, luego individualmente la DHP de cada uno será la mitad: 3979 kW y 4575 kW.

### 3.4. Características técnicas de los propulsores

Como se ha comentado en el apartado 3.1., se decidió instalar sendas unidades Azipod, en concreto unos propulsores del grupo ABB.

Se ha estimado antes un intervalo de potencias en el que tiene que estar la DHP de cada propulsor. En él debe estar la potencia que reciban directamente las hélices, luego la capacidad del motor eléctrico de los propulsores Azipod debe elegirse atendiendo a este requerimiento. La potencia al freno, BHP, puede expresarse en función de la potencia entregada, DHP, mediante la expresión:

$$DHP = \eta_M \cdot BHP$$

siendo  $\eta_M$  el rendimiento mecánico de la línea de ejes.

El tipo de propulsor que se va a instalar tiene una línea de ejes muy corta y, por tanto, su rendimiento será muy alto comparado con las líneas de ejes directamente acopladas de un buque convencional. En consecuencia, el intervalo de potencias antes calculado para la DHP será el que se deba tener en cuenta a la hora de elegir un propulsor u otro.

Los propulsores que se seleccionaron para instalar en el buque son unos Azipod de la serie CO del grupo ABB, cuyas capacidades de potencia van desde 1,3 a 4,5 MW. El código CO de esa serie designa a los Azipod “compactos” (C) y diseñados para operar en mar abierto (O). Es un sistema de propulsión acimutal que proporciona alta eficiencia de propulsión y ahorro de combustible.

Las características técnicas de los dos modelos Azipod CO de la compañía ABB estudiados para su instalación en el buque proyecto son las siguientes:

	CO1250	CO1400
<b>Propeller type</b>	Pulling	Pulling
<b>Potencia (kW)</b>	2100 - 3900	2200 - 4500
<b>Velocidad de rotación (rpm)</b>	160 - 280	120 - 270
<b>Intensidad del motor (A)</b>	2200 - 4200	2300 - 4800
<b>Radio de giro (m)</b>	3,05	3,35

Tabla 3. Características técnicas de los propulsores Azipod CO

Un sistema completo de propulsión Azipod CO consiste en el número requerido de unidades propulsoras (en el caso del buque proyecto dos unidades) y un drive de la serie ACS de ABB para controlar cada Azipod. Además se necesita una planta de energía eléctrica para alimentar todo el sistema de propulsión y los demás consumidores de energía a bordo. La planta de energía incluye a los grupos electrógenos, los cuadros de distribución y a menudo son necesarios también unos transformadores para la propulsión.

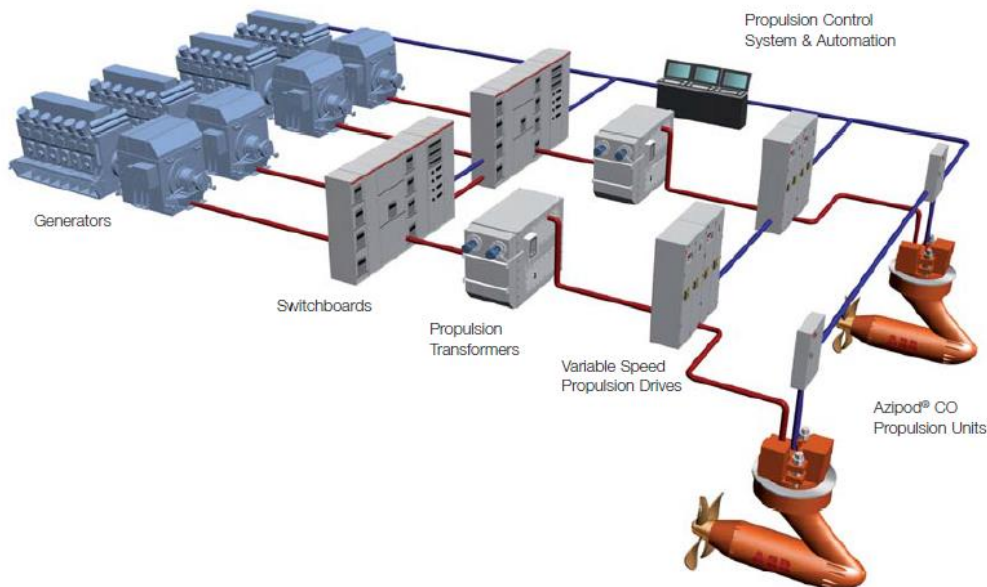


Figura 2. Sistema completo de propulsión Azipod y planta eléctrica

La maniobrabilidad es excepcional, puesto que son unidades de propulsión totalmente orientables, 360°, lo cual ofrece un diámetro de giro estrecho, corta distancia en la maniobra de parada brusca (crash-stop) y empuje en todas direcciones a cualquier velocidad. Esto además implica que no sean necesarios timones.

Las dimensiones principales de los dos modelos Azipod CO de la compañía ABB estudiados para su instalación en el buque proyecto son las siguientes:

Dimensión	CO1250	CO1400
<b>D1 (mm)</b>	1310	1470
<b>D2 (mm)</b>	2400 - 3500	2700 - 4000
<b>D3 (mm)</b>	2780	2780
<b>L3 (mm)</b>	5730	6200
<b>H1 (mm)</b>	2710	3090
<b>H2 (mm)</b>	650	650
<b>H3 (mm)</b>	1980	1980
<b>H4 (mm)</b>	2300	2300
<b>L4 back (mm)</b>	1700	1700
<b>L4 front (mm)</b>	2250	2250
<b>W (mm)</b>	4000	4000
<b>Peso (t)</b>	47	59
<b>Desplazamiento (m<sup>3</sup>)</b>	8,5	11
<b>Velocidad máx. buque (nudos)</b>	19	21
<b>R (mm)</b>	3050	3350

Tabla 4. Dimensiones principales de los propulsores Azipod CO

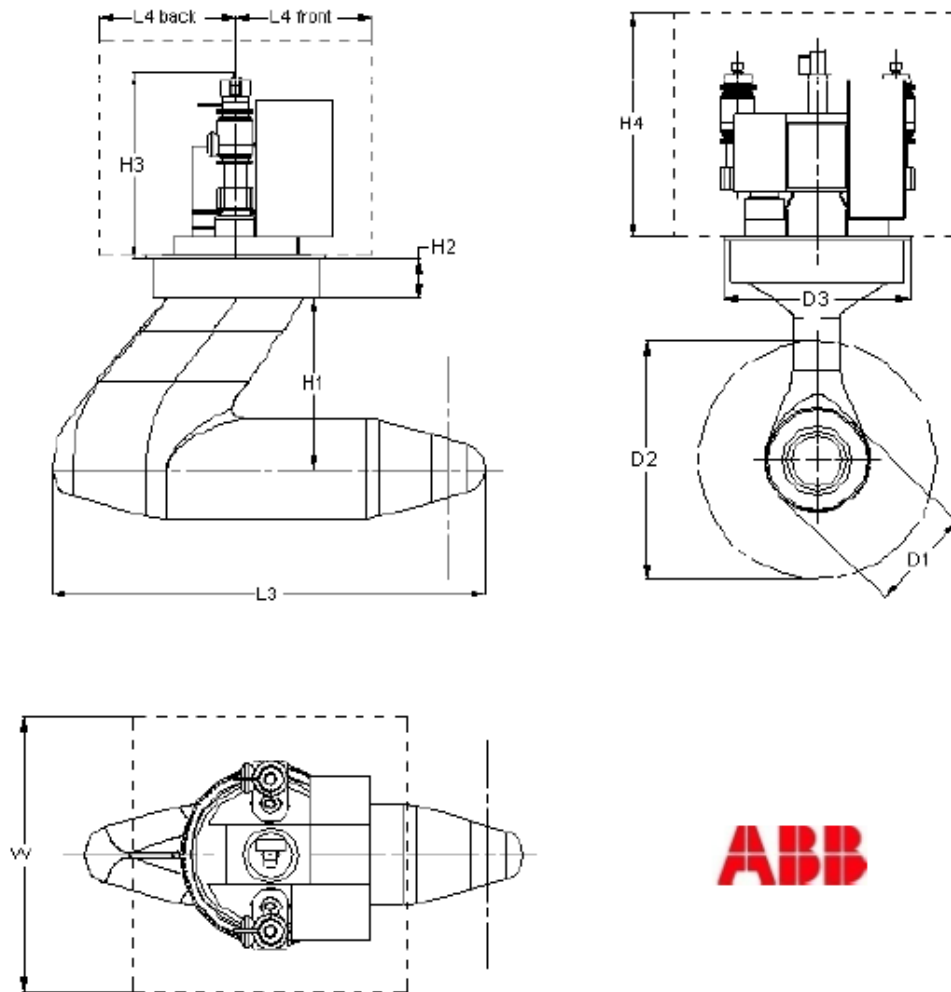


Figura 3. Plano de los propulsores Azipod CO con las cotas principales

Con el propulsor montado directamente en el eje del motor, se eliminan todas las transmisiones mecánicas. El resultado es un diseño estructural muy simplificado con pocas partes móviles. La velocidad de rotación y la dirección de los propulsores son controladas por convertidores de frecuencia y los Azipod están conectados solamente mediante cableado. Las hélices deben ser de paso fijo, directamente montadas en el eje del motor.

Los propulsores son completamente estancos, estando la carcasa presurizada y con una presión de aire positiva hacia el mar. Cuentan también con un sistema de cierre doble en el eje.

Estos propulsores son de construcción simple. Los Azipod CO se entregan al astillero en dos módulos listos para su montaje completo: el módulo de dirección o servomotor (steering module), que se instala dentro de la nave, y el módulo de propulsión (propulsión module), que se monta debajo del casco. El trabajo restante implica únicamente la conexión eléctrica. Al estar refrigerado por el agua de mar circundante, el Azipod CO no necesita ningún sistema de refrigeración y la ausencia de una transmisión mecánica significa que se requiere una cantidad mínima de aceite. Este concepto permite un montaje fácil y rápido y garantiza una instalación de alta calidad.

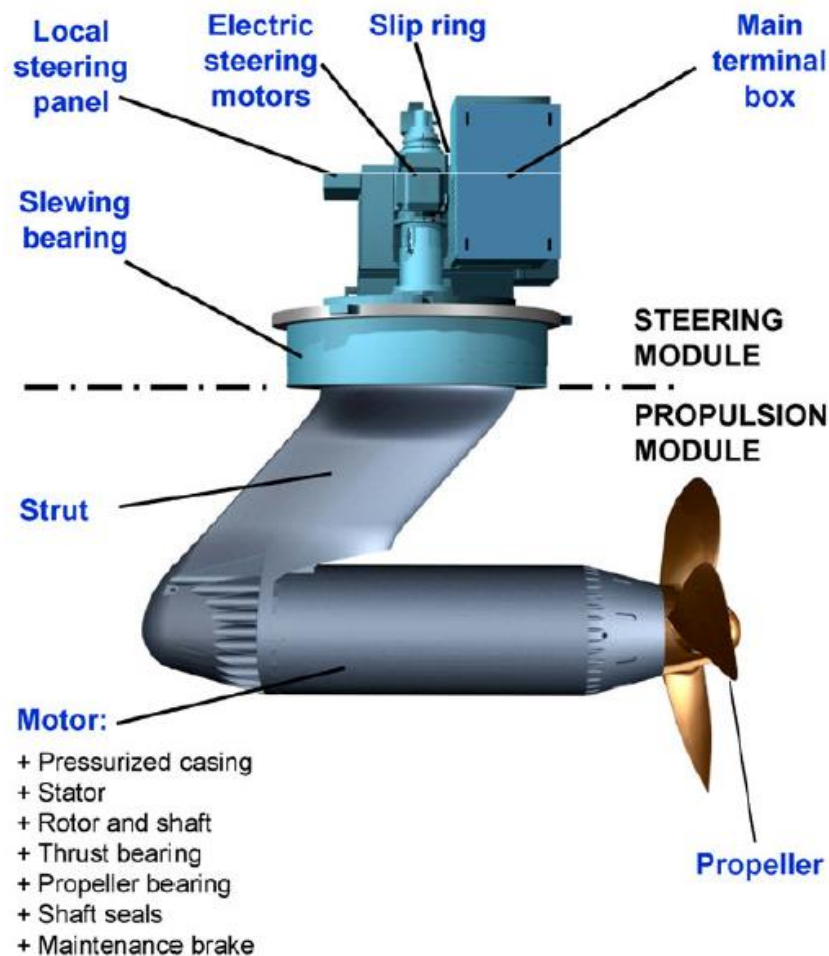


Figura 4. Elementos funcionales de los Azipod CO

Al eliminar la cavitación debido al buen flujo de agua a la hélice y mediante la localización de los motores de propulsión en un POD sumergido, el ruido y las vibraciones a bordo disminuyen notablemente respecto a otro tipo de propulsión.

Una vez expuesto el concepto técnico de los propulsores elegidos se debe tomar una decisión respecto a cuál de los dos modelos elegir, CO1250 o CO1400.

Los principales criterios seguidos para hacer la elección correcta fueron la potencia de los propulsores y su disposición en el codaste.

En los catálogos de ABB se indica que el ángulo que forme el eje vertical de los Azipod con la horizontal no debe superar los  $\pm 6^\circ$ , tanto en sentido popa-proa como estribor-babor. Además, el espacio reservado para ellos debe ser el suficiente para que no se supere la línea de base y para que, asimismo, los huelgos entre las hélices y el casco cumplan con la normativa. Todo ello influyó notablemente en la definición de las formas y en la elección de la situación de la cuaderna 0. Más adelante se explicará el croquis del perfil del codaste con los propulsores, que se incluye en el anexo a este cuaderno.

En cuanto a la potencia de los propulsores, la DHP requerida a 17 nudos durante el tiempo de servicio del buque se estimó que se encuentra entre 3979 kW y 4575 kW. El modelo de propulsor CO1250 tiene como máxima potencia del motor síncrono 3900 kW y, por ello, puede dar problemas de falta de potencia durante la operación del buque. En cambio el modelo CO1400 puede proporcionar unos motores síncronos de hasta 4500 kW, por lo que los requerimientos de potencia con este propulsor se satisfacen mejor que con el otro modelo.

Por todo ello, se ha seleccionado para el buque proyecto instalar sendos **propulsores Azipod del grupo ABB con motores síncronos de 4500 kW de potencia.**

#### 4. Proyecto de hélices por series sistemáticas

Antes de empezar hay que indicar que según el fabricante ABB la dimensión de las hélices sólo se puede encontrar en un rango de diámetros, que en el caso del modelo CO1400 es entre 2700 y 4000 mm. El diámetro máximo que cabe en el codaste es 2900 metros.

Una serie sistemática de propulsores es un conjunto de formas de hélices relacionadas entre sí de manera geométrica y sistemática, elegidas para tener buen rendimiento y aceptable comportamiento en cavitación y de las que, adicionalmente se dispone de resultados de ensayos de propulsor aislado.

Se utilizará la Serie B del Canal de Wageningen, la cual está dividida en familias de propulsores. Los parámetros que son constantes dentro de cada familia y que los distinguen de otras son el número de palas,  $Z$ , y la relación área/disco,  $\frac{A_d}{A_0}$ . A su vez las hélices de cada familia se diferencian unas de otras por la relación paso/diámetro,  $\frac{H}{D}$ .

Número de palas	2	3	4	5	6	7
Relación $A_d/A_0$	0,30 0,38	0,35 0,50 0,65 0,80	0,40 0,55 0,70 0,85 1,00	0,45 0,60 0,75 1,05	0,50 0,65 0,80	0,55 0,70 0,85
Relación $H/D$	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,6 a 1,4	0,6 a 1,4
Relación de espesores $S/D$	0,055	0,05	0,045	0,40	-	-
Relación $\frac{\text{diám.núcleo}}{\text{diám.hélice}}$	0,18	0,18	0,167	0,167	-	-
Relación $\frac{H_{0,20}}{H_{0,7}}$	1	1	0,80	1	-	-
Ángulo de lanzamiento	15°	15°	15°	15°	-	-

Tabla 5. Características de la serie B de Wageningen

La formas de presentación de los resultados más apropiada para el proyecto son los diagramas  $B_P - \delta$ . En estos diagramas en ordenadas se encuentra la relación paso/diámetro,  $\frac{H}{D}$  y en abscisas  $B_P$ , que se puede expresar como

$$B_P = \frac{N \cdot \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$$

Como la propulsión es diésel-eléctrica la hélice debe diseñarse para la máxima potencia y revoluciones nominales, por ello se toma como BHP de cada unidad Azipod los 4500 kW (6118,3 CV) que pueden ofrecer. Para calcular la DHP deben considerarse los rendimientos de los distintos elementos de la propulsión.



Las variables para el proyecto por series sistemáticas son dos: revoluciones por minuto y diámetro de la hélice. Las restricciones del proyecto de la hélice se derivan fundamentalmente de los criterios de cavitación.

#### 4.1. Tipo de hélices y número de palas, Z

Las hélices deben ser de palas fijas, directamente montadas en el eje del motor, como se explicó antes que exige el fabricante ABB en sus catálogos. Para el proyecto de este tipo de hélice se pueden utilizar las series existentes, como la de Kaplan o la B de Wageningen, que es la que finalmente se usará.

El número de palas, Z, elegido es 4. Para una misma DHP y revoluciones por minuto, las hélices de menos palas tienen mayor diámetro óptimo y mejor rendimiento. Sin embargo, en número de palas a instalar es también función de otros factores, como el posible acoplamiento del número de palas con los armónicos de la estela. En este caso se han elegido hélices de cuatro palas porque lo normal en buques de dos hélices es poner 3 o 4 palas y, ya que el diámetro máximo del codaste es 2,90 m, es mejor la solución de instalar 4 palas. Además es más común en los propulsores Azipod instalar hélices de 4 palas.

#### 4.2. Procedimiento de cálculo

Los datos de los que se dispone para comenzar con el proyecto de hélices por series sistemáticas se indican en la siguiente tabla:

<b>Resistencia al avance (<math>R_T</math>)</b>	645,2 kN	65836,7 kg
<b>Potencia efectiva (EHP)</b>	5673 kW	7713 CV
<b>Potencia de cada Azipod (BHP)</b>	4500 kW	6118,3 CV
<b>Velocidad del buque (V)</b>	17 nudos	8,75 m/s
<b>Rendimiento rotativo relativo, <math>\eta_r</math></b>	0,975	
<b>Coefficiente de estela efectiva (w)</b>	0,1344	
<b>Coefficiente de succión (t)</b>	0,1541	
<b>Rendimiento cuasi-propulsivo, <math>\eta_D</math></b>	0,62	
<b>Diámetro máximo del disco de la hélice (<math>D_{\text{máx}}</math>)</b>	2,90 m	9,51 pies
<b>Inmersión del eje de la hélice (h)</b>	6,24 m	20,47 pies
<b>Número de palas (Z)</b>	4	

*Tabla 6. Datos para el diseño de las hélices por series sistemáticas*

En un caso como el del buque proyecto, lo usual es fijar el diámetro de la hélice en el tamaño máximo que pueda albergar el vano del codaste y buscar las revoluciones que producen el mejor rendimiento de la hélice. La razón de elegir el mayor diámetro que quepa en el codaste es que las hélices de diámetros mayores tienen, a sus revoluciones por minuto óptimas, mejores rendimientos que las hélices de diámetros menores.

Los cálculos a realizar consistirán en una serie de pasos hasta alcanzar los resultados finales con las características de las hélices que se deben proyectar.

#### 4.2.1. Primer paso

Como se dijo antes, el valor de la potencia de cada unidad Azipod, BHP, son 4500 kW (6118,3 CV). Por tanto, la potencia entregada, (DHP)<sub>WAG</sub> es:

$$(DHP)_{WAG} = \frac{BHP \cdot \eta_r}{1,026} = \frac{6118,3CV \cdot 0,975}{1,026} = 5814CV$$

La velocidad relativa en cada propulsor,  $V_A$ , será diferente de la velocidad del buque y se calcula de esta manera:

$$V_A = V \cdot (1 - w) = 17 \text{ nudos} \cdot (1 - 0,1344) = 14,72 \text{ nudos} = 7,57m/s$$

Se elige una relación área/disco,  $\frac{A_D}{A_0}$ , preliminar mediante la expresión de Keller.

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(10100 + 1026 \cdot h) \cdot D^2} + K$$

K es la constante aditiva de seguridad, que para buques de dos hélices vale 0,10, D es el diámetro de las hélices y T el empuje de los propulsores, calculado de la siguiente forma:

$$T = \frac{R_T}{1 - t} = \frac{\frac{65836,7}{2} kg}{1 - 0,1541} = 38915,2kg$$

Por consiguiente, al ser el diámetro máximo que cabe en el codaste 2,90 m, la relación área/disco es:

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot 4) \cdot 38915,2kg}{(10100 + 1026 \cdot 6,24) \frac{kg}{m^2} \cdot (2,90m)^2} + 0,10 = 0,801$$

A continuación se escogen tres valores de las RPM,  $n_1$ ,  $n_2$  y  $n_3$  de forma que pueda preverse que las  $n_{óptimas}$  estén incluidas dentro de esa gama y se calculan, para cada una de las revoluciones elegidas,  $\delta = \frac{n \cdot D}{V_A}$  y  $B_P = \frac{n \cdot \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$ .

$$\delta = \frac{n \cdot 2,90m \cdot 3.2808 \frac{pies}{m}}{14,72 \text{ nudos}}$$

$$B_P = \frac{n \cdot \sqrt{5814CV}}{(14,72nudos)^{2,5}}$$

Los tres valores de las revoluciones son 225, 275 y 325 rpm. Con los resultados obtenidos de  $\delta$  y  $B_P$  se entra en los diagramas  $B_P$ - $\delta$  correspondientes a hélices de 4 palas y relaciones área/disco 0,70, serie B. 4.70, y 0,85, serie B. 4.85, y se leen los valores de  $\eta_0$  y  $H/D$ . Posteriormente se interpolan los datos leídos en esos diagramas para la relación área/disco calculada antes. En la siguiente tabla se indican los valores obtenidos:

n(rpm)	$\delta$	$B_P$	$A_d/A_0 = 0,70$		$A_d/A_0 = 0,85$		$A_d/A_0 = 0,801$	
			$\eta_0$	H/D	$\eta_0$	H/D	$\eta_0$	H/D
225	145,4	20,6	0,557	1,28	0,553	1,26	0,554	1,27
275	177,7	25,2	0,572	0,96	0,562	0,97	0,568	0,97
325	210,1	29,8	0,556	0,78	0,558	0,76	0,557	0,77

Tabla 7.  $\eta_0$  y  $H/D$  para cada rpm y relación área/disco

Se dibuja entonces la curva  $\eta_0$ -n y se obtienen las revoluciones óptimas,  $n_{\text{óptimas}}$  que corresponden al  $\eta_{0\text{máx}}$ . Se dibuja también la curva  $H/D$ -n y, entrando en ella con las  $n_{\text{óptimas}}$  se obtiene el valor  $H/D$  correspondiente.

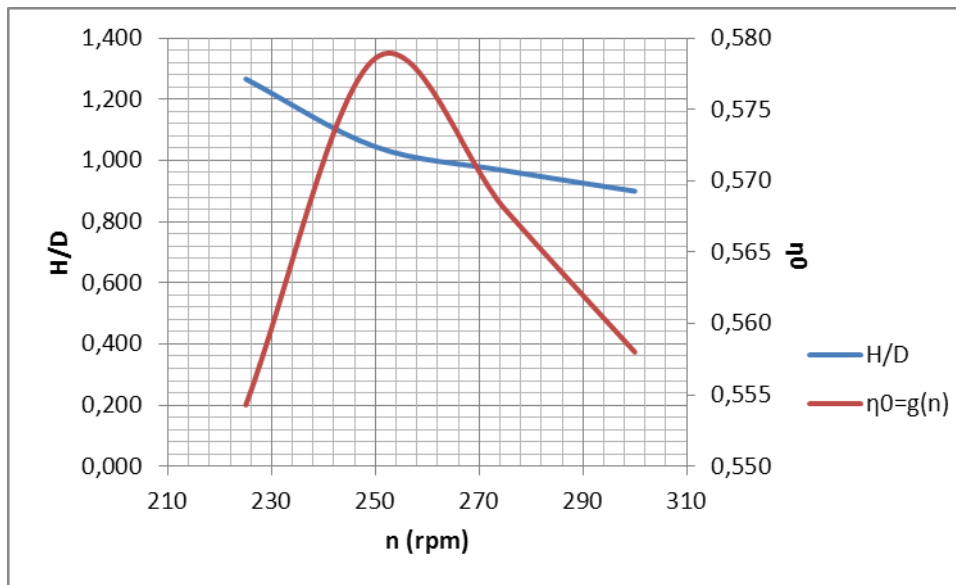


Gráfico 4. Curvas  $\eta_0$ -n y  $H/D$ -n para  $A_d/A_0=0,801$

Las revoluciones óptimas son, por tanto, 254 rpm y corresponden al  $\eta_{0\text{máx}}$  de 0,579. Con ellas el valor que se obtiene de la relación paso/diámetro,  $H/D$ , es 1,045.

El empuje final entregado por la hélice valdrá:

$$T_{f1} = \frac{DHP \cdot 75 \cdot \eta_0}{V_A} = \frac{5814CV \cdot 75 \cdot \frac{kg \frac{m}{s}}{CV} \cdot 0,579}{7,57m/s} = 33351,8kg$$

#### 4.2.2. Segundo paso

Completado el primer paso, lo siguiente que debe hacerse es repetir el mismo proceso de cálculo con los nuevos valores deducidos.

Hay que calcular, según la fórmula de Keller, un nuevo valor de la relación área/disco,  $\frac{A_D}{A_0}$ , con el empuje final del paso 1.

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot 4) \cdot 33351,8 \text{ kg}}{(10100 + 1026 \cdot 6,24) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot (2,90 \text{ m})^2} + 0,10 = 0,701$$

A continuación se calculan los valores  $\delta = \frac{n \cdot D}{V_A}$  y  $B_P = \frac{n \cdot \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$  para una serie de revoluciones y, al igual que en el primer paso, se entra en el diagrama  $B_P$ - $\delta$  correspondiente a hélices de 4 palas y relación área/disco 0,70, serie B. 4.70, y se leen los valores de  $\eta_0$  y  $H/D$ . En la siguiente tabla se indican los valores obtenidos:

			$A_d/A_0 = 0,70$	
$n(\text{rpm})$	$\delta$	$B_P$	$\eta_0$	$H/D$
225	145,4	20,6	0,557	1,28
275	177,7	25,2	0,572	0,96
325	210,1	29,8	0,556	0,78

Tabla 8.  $\delta$ ,  $B_P$ ,  $\eta_0$  y  $H/D$  para cada rpm y relación área/disco 0,701

Se dibuja la curva  $\eta_0$ - $n$  y se obtienen las revoluciones óptimas,  $n_{\text{óptimas}}$  que corresponden al  $\eta_{0\text{máx}}$ . Se dibuja también la curva  $H/D$ - $n$  y, entrando en ella con las  $n_{\text{óptimas}}$  se obtiene el valor  $H/D$  correspondiente.

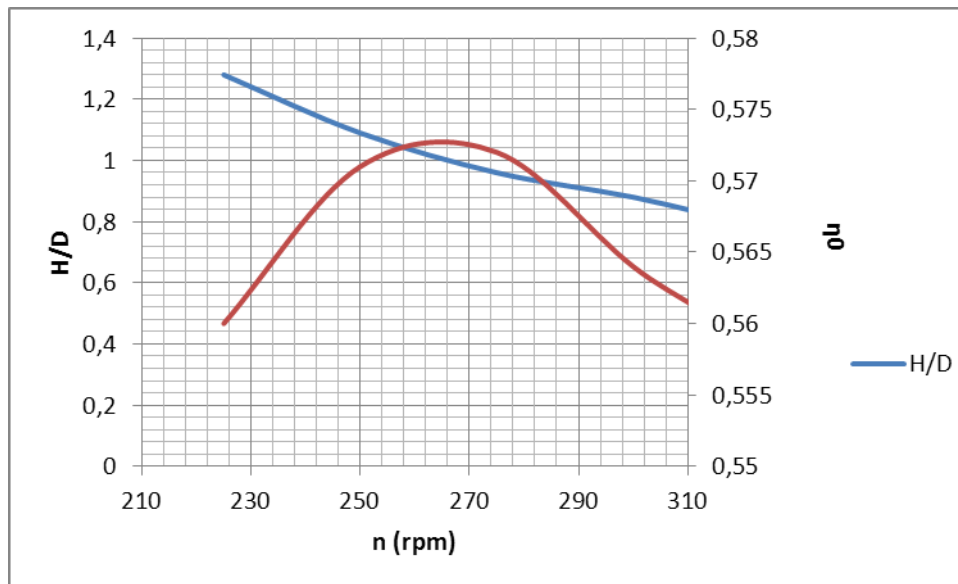


Gráfico 5. Curvas  $\eta_0$ - $n$  y  $H/D$ - $n$  para  $A_D/A_0=0,701$

Las revoluciones óptimas son, por tanto, 266 rpm y corresponden al  $\eta_{0\text{máx}}$  de 0,573. Con ellas el valor que se obtiene de la relación paso/diámetro,  $H/D$ , es 1,06.

El empuje final entregado por la hélice valdrá:

$$T_{f2} = \frac{DHP \cdot 75 \cdot \eta_0}{V_A} = \frac{5814 CV \cdot 75 \frac{kg \frac{m}{s}}{CV} \cdot 0,573}{7,57 m/s} = 33006,2 kg$$

Con los resultados de este segundo paso se considera que la hélice proyectada es correcta. Su rendimiento en aguas libres,  $\eta_0$ , vale 0,573 y las revoluciones óptimas son 266 rpm pero se aproximarán a 265 rpm. La relación área/disco,  $\frac{A_D}{A_0}$ , es 0,701, la relación paso/diámetro, H/D, 1,06 y el empuje real 33006,2 kg.

#### 4.2.3. Conclusión y resultados

Una vez terminado el proceso de diseño de hélices por series sistemáticas, se presenta a continuación una tabla con el resumen de las características de las hélices óptimas para el buque proyecto.

Tipo de hélices	Hélices de palas fijas
Número de palas (Z)	4
Diámetro del disco de la hélice (D)	2,90 m
Inmersión del eje de la hélice (h)	6,24 m
Relación área/disco $\left(\frac{A_D}{A_0}\right)$	0,701
Relación paso/diámetro, H/D	1,06
Revoluciones óptimas ( $n_{\text{óptimas}}$ )	265 rpm
Rendimiento a $n_{\text{óptimas}}$ ( $\eta_0$ )	0,573
Rendimiento rotativo relativo, $\eta_r$	0,975
Potencia absorbida entregada a cada hélice (DHP)	4276 kW (5814 CV)

Tabla 9. Características de las hélices proyectadas por series sistemáticas



Figura 5. Vista del codaste de un buque con la popa similar al buque proyecto

## **5. Maniobrabilidad y posicionamiento dinámico**

La predicción de las características de maniobrabilidad no se puede hacer por un método totalmente analítico en la fase de proyecto del buque. Hay que recurrir a la experimentación. Es un análisis con grandes dificultades debido, por un lado, a la inexistencia de un planteamiento teórico matemáticamente resoluble y, por otro, a las dificultades para la experimentación por los efectos de escala.

Las cualidades de maniobrabilidad del buque se suelen medir por las tres características siguientes:

**-Facilidad de evolución.** Está relacionada con el espacio físico que necesita el buque para realizar un fuerte cambio de trayectoria y de rumbo.

**-Facilidad de gobierno.** Es la capacidad de mantener al buque en ruta. Se pueden distinguir tres conceptos englobados dentro de ella: estabilidad dinámica, rapidez de recuperación y estabilidad de ruta.

**-Facilidad de cambio de rumbo.** Es la capacidad del buque para cambiar de ruta o trayectoria en el menor espacio (facilidad de evolución) y con la mayor rapidez posible (facilidad de gobierno).

En la siguiente figura pueden verse representadas algunas magnitudes que son índices representativos de maniobrabilidad.

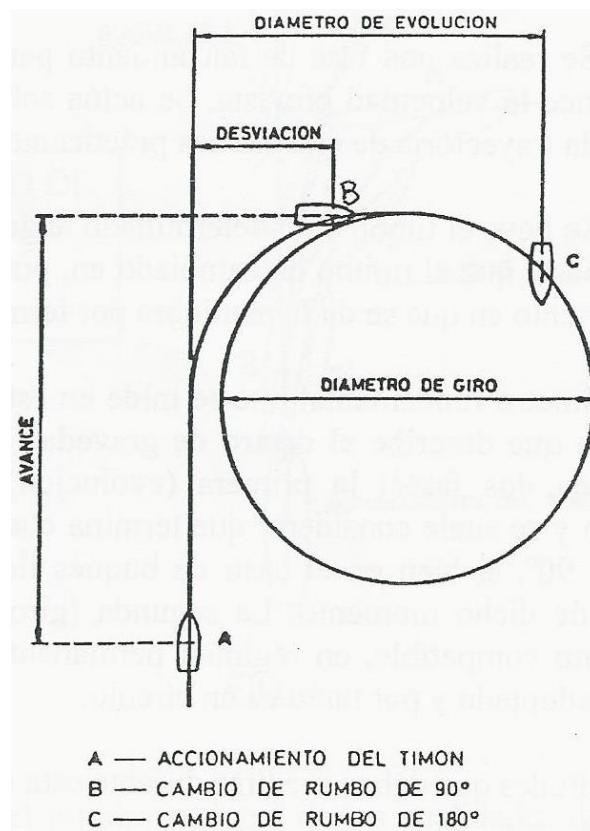


Figura 6. Características de maniobrabilidad

Ya se ha comentado que en buques que tienen instalados propulsores tipo POD la maniobrabilidad es muy buena, sobre todo en puerto o en la cercanía a plataformas y a bajas velocidades. No son, por ello, necesarios timones y el buque puede girar 360° cuando está parado manteniéndose en la misma posición. La capacidad de maniobra de un buque suele permanecer en segundo plano frente al perfeccionamiento de la resistencia al avance y la propulsión. Sin embargo, no debe ser un aspecto que se pase por alto y se debe intentar mejorar sus características, pues afectan de forma notable a la explotación del buque.

En este apartado se expondrán también los requisitos que conlleva la exigencia de equipar al buque con posicionamiento dinámico nivel 2 (DP (AA) según la notación de Lloyd's Register).

### **5.1. Criterios de maniobrabilidad del buque**

A continuación se muestran los criterios de maniobrabilidad que se debe exigir cumplir al buque proyecto cuando se encuentre en operación. Se presupone que todos ellos se cumplen, al contar con un sistema de propulsión que proporciona unas cualidades de maniobrabilidad muy favorables. La comprobación de los distintos criterios se puede estimar mediante fórmulas que no se consideran muy acertadas para el buque proyecto debido a sus dimensiones principales. Por lo tanto, la comprobación de las cualidades de maniobrabilidad del buque debería hacerse mediante modelos en canales de ensayos hidrodinámicos o directamente al realizar las pruebas de mar en el astillero.

#### **5.1.1. Criterios mínimos aceptables de facilidad de evolución**

El único criterio establecido respecto a la facilidad de evolución es el de Gertler, referido al diámetro de evolución.

$$D_T \leq 4,5 \cdot L$$

Es más fácil relacionar este criterio de aceptabilidad con el diámetro de giro. De un buen número de resultados de ensayos con modelos y algunos de pruebas de mar se puede concluir que el diámetro de evolución ( $D_T$ ) y el de giro ( $D$ ), están relacionados de la siguiente forma:

$$D_T = 1,4 \cdot D \text{ para } C_B = 0,80$$

$$D_T = 1,07 \cdot D \text{ para } C_B = 0,60$$

donde  $C_B$  es el coeficiente de bloque.

Teniendo en cuenta el criterio de Gertler queda como criterio de evolución, representado por el valor del diámetro de giro:

$$D \leq 3,2 \cdot L \text{ para } C_B \geq 0,80$$

$$D_T \leq 4,2 \cdot D \text{ para } C_B \leq 0,60$$

Se debe interpolar linealmente para el coeficiente de bloque del buque proyecto, que es 0,608, como se definió en el cuaderno 3. El resultado, por tanto, para los valores del criterio de facilidad de evolución es que el diámetro de giro se encuentre en el intervalo:

$$D \leq 4,16 \cdot L \text{ para } C_B = 0,608$$

Aproximadamente el diámetro de giro no debe ser mayor de 350 metros.

### 5.1.2. Criterios mínimos aceptables de facilidad de cambio de rumbo

Las dos magnitudes que representan usualmente la facilidad de cambio de rumbo son el avance y el número P de Norbin.

Los valores máximos aceptables para el avance han de fijarse de forma congruente con los del diámetro de evolución. Para un coeficiente de bloque de 0,608 se puede expresar:

$$D_T = D_v + 0,56 \cdot D$$

$$D_v = 0,548 \cdot A_v$$

Por el criterio de Gertler debe cumplirse que  $D_T \leq 4,5 \cdot L$  y  $D \leq 4,16 \cdot L$ , con lo que operando queda:

$$A_v \leq 3,96 \cdot L$$

El avance no debe ser mayor de 323 metros, aproximadamente.

En cuanto al número P, la recomendación de Nomoto y Norbin indica que en el caso del buque proyecto, con un coeficiente de bloque de 0,608:

$$P \geq 0,296$$

### 5.1.3. Criterios mínimos aceptables de estabilidad de ruta

En este caso debe seguirse el criterio de Gertler de limitar la anchura del ciclo de histéresis en la maniobra de espiral a 4°.



#### **5.1.4. Facilidad de parada**

Ha de medirse en la prueba de parada. Durante esta prueba, cuando el buque navega a toda velocidad marcha avante, se da atrás toda y se mantienen los propulsores a la vía. La distancia navegada por el barco desde que se dio la orden de atrás toda hasta que el buque queda sin arrancada no debe exceder el valor de 20 esloras, no más de 1700 metros en el caso del buque proyecto.

### **5.2. Sistema de posicionamiento dinámico**

Un sistema de posicionamiento dinámico se puede definir como aquel que automáticamente mantiene la posición y el rumbo del buque, exclusivamente mediante el uso de los sistemas propios de propulsión activa del barco.

Al ser un sistema controlado por ordenador, se debe disponer de sensores de referencia de posición, viento, corriente y girocompases que proporcionen la información necesaria sobre la posición del buque y la magnitud y dirección de las fuerzas que le afecten. El software incluye un modelo matemático del barco, con lo que se introduce información sobre el efecto del viento y la corriente sobre el buque. Con los datos recibidos de los sensores y el modelo matemático el ordenador es capaz de calcular la potencia y la dirección que se debe aplicar en cada propulsor para que el barco mantenga su posición. Por lo tanto, un sistema de posicionamiento dinámico consta de los sistemas de sensores, de control, de propulsores y de potencia.

Los sistemas de posicionamiento dinámico no son simples instrumentos con los que se equipa al buque, sino que es una capacidad del buque que se consigue mediante la integración de una gran variedad de sistemas.

Como dicen las especificaciones se debe dotar al buque con posicionamiento dinámico nivel 2, que según la notación de Lloyd's Register es DP (AA). Esta sociedad de clasificación explica en la parte 7 (capítulo 4, sección 4) de sus normas los requerimientos a aplicar para la asignación de notación de clase DP (AA). Se necesita que los sistemas de potencia, control, propulsores y otros sistemas necesarios, o que pudieran afectar al correcto funcionamiento del sistema DP, sean proporcionados y configurados de tal manera que, cualquier fallo en cualquier componente activo o sistema, no de dar lugar a una pérdida de posición. Estos requisitos del sistema DP (AA) se alcanzan principalmente mediante redundancia de equipos. La redundancia puede definirse como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo.

La panorámica desde el punto de vista práctico permite observar que la redundancia en los sistemas de posicionamiento dinámico posibilita el abandono y cancelación segura de las operaciones, permitiendo al barco salir de la zona de trabajo

de una manera segura y bajo el control del DP, en caso de un fallo individual de cualquier sistema.

Por tanto, el buque proyecto, con sistema DP (AA) debe tener completa redundancia en equipamientos y sistemas.

Lo más común en buques con posicionamiento dinámico es que la propulsión sea diesel-eléctrica, como exigen las especificaciones de este proyecto. Un sistema DP necesita más potencia que el resto de operaciones del barco. En los buques con un sistema de propulsión diesel-eléctrico un número de generadores suministra energía a los cuadros eléctricos, de forma que la pérdida o no disponibilidad de algún generador no es catastrófica.

Para los trabajos que involucran el manejo de anclas, el sistema de posicionamiento dinámico puede utilizarse para facilitar la maniobra de traslado del ancla desde la plataforma hasta la posición deseada y emplazar ésta en el fondo de una forma exacta.

En la siguiente imagen puede verse lo delicadas que son las tareas de los buques de apoyo a plataformas. Se tiene que trabajar muy cerca de las plataformas oceánicas y con restricción de movimientos. El sistema de posicionamiento dinámico juega entonces un papel crucial en este tipo de tareas, sobre todo cuando éstas se alargan en el tiempo. En este caso el buque realiza una operación de suministro a la plataforma, izando los materiales hasta la misma mediante grúa.



*Figura 7. Trabajos de suministro en una plataforma offshore*

Finalmente se presenta en la siguiente tabla un resumen de las principales ventajas y desventajas de los sistemas de posicionamiento dinámico.

Ventajas	Desventajas
El barco tiene maniobrabilidad completa, no son necesarios remolcadores en ninguna fase de operación.	Complejidad del sistema, por lo que se requiere mayor inversión.
Facilidad para instalarse y desmovilizarse.	Vulnerable a los fallos eléctricos y caídas de potencia.
Rapidez para abandonar la posición en caso de accidente.	Vulnerable a los fallos en los propulsores.
No requiere fondearse.	Mayor coste diario comparado con los sistemas de fondeo.
Respuesta rápida ante los cambios en los requerimientos de operación.	Alto consumo.
Versatilidad en operación combinada con otros sistemas.	Mayor riesgo de pérdida de la posición.
Capacidad para operar en grandes profundidades.	Mayor riesgo para operaciones submarinas por la presencia de los propulsores en funcionamiento.
Capacidad de completar varias tareas rápidamente.	Problemas en aguas someras.
Evita el riesgo de dañar los dispositivos dispuestos en el fondo marino.	Requiere al menos un sistema de referencia de posición continuamente.
Amplía la ventana de operación con lo que se facilitan las labores de instalación, mantenimiento y reparación de los dispositivos de aprovechamiento energético.	Es necesario un personal cualificado, con una formación y experiencia importante.

Tabla 10. Ventajas y desventajas del sistema de posicionamiento dinámico

### 5.3. Propulsores transversales de proa

El empuje que deben proporcionar las hélices transversales depende del tipo de buque, del área lateral proyectada de la obra viva y de la obra muerta del buque. Se puede estimar su valor, en función de la eslora, mediante la siguiente expresión:

$$E = F \cdot L_{pp} \cdot T$$

- $L_{pp}$ : eslora entre perpendiculares (81,46 m).
- $T$ : calado (7,7 m).
- $F$ : constante que relaciona el empuje necesario con la superficie de la obra viva. En el caso del buque proyecto vale  $0,14 \text{ kN/m}^2$ .

Por lo tanto, el valor que se obtiene del empuje necesario es:

$$E = 0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 81,46\text{m} \cdot 7,7\text{m} = 87,81\text{kN} = 8960,6\text{kg}$$

El valor medio de la relación entre el empuje y la potencia del motor de accionamiento en hélices en un túnel transversal es 11 kg/CV, con lo que resulta que la potencia necesaria de los thruster de proa es:

$$814,6 \text{ CV} = 599,1 \text{ kW}$$

Sin embargo esta estimación parece que se queda corta si se compara con la potencia real instalada en algunos de los buques de la base de datos, que se encuentra en torno a 1700 kW. Por tanto, se hará también una estimación mediante un método que considere los efectos del viento y de las corrientes. Para ello deben calcularse las áreas de la obra viva, que será la que esté sometida a los efectos de las corrientes, y de la obra muerta, que sufrirá las fuerzas producidas por el viento. Después se buscarán los valores medios de viento y corrientes en el mar Cantábrico, que es donde operaría el buque proyecto. Por último, con los datos anteriores se puede calcular la fuerza que deben vencer los propulsores Azipod de popa y los transversales de proa mediante el empuje que proporcionen y, por tanto, puede estimarse la potencia necesaria para mantener la posición del buque. Se considerará que las fuerzas del viento y de la corriente tienen una componente única perpendicular al plano de crujía del buque, que es la situación más desfavorable.

Las áreas laterales proyectadas de la obra viva y la obra muerta pueden verse en la siguiente figura:

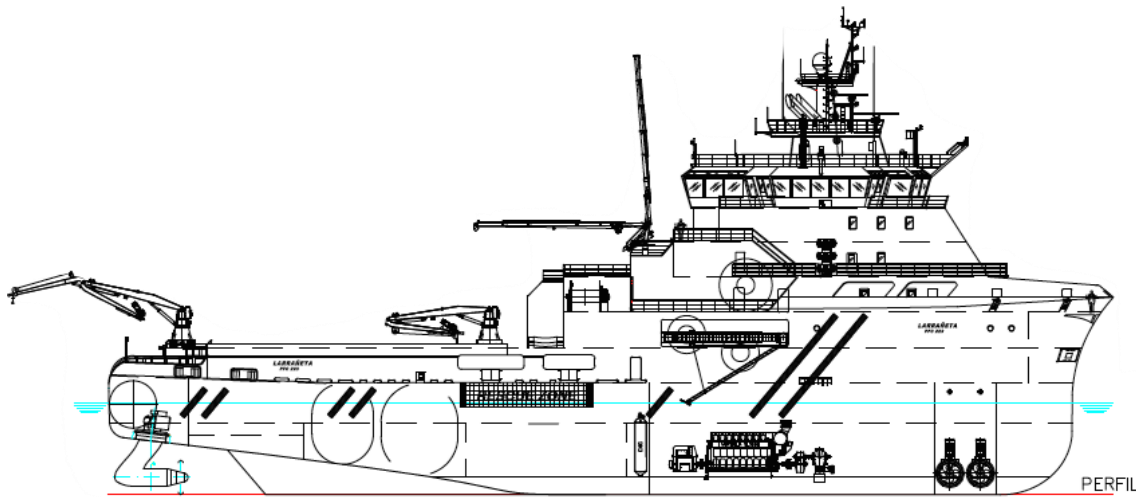


Figura 8. Área lateral proyectada del buque proyecto

Sus valores son:

$$A_{obra\ viva} = 514,1 \text{ m}^2$$

$$A_{obra\ muerta} = 760,5 \text{ m}^2$$

Los datos sacados de la página web de Puertos del Estado referentes a la boya de Bilbao-Vizcaya para el periodo de años comprendido entre 1990 y 2014 reflejan que el

valor máximo alcanzado de la velocidad media del viento fue 23,6 m/s (en Octubre de 2006 y en Enero de 2009), por lo que:

$$V_{viento} = 23,6 \frac{m}{s}$$

Para esa misma boya y también en el periodo de años comprendido entre 1990 y 2014, el valor máximo de la velocidad media de la corriente fue 134,8 cm/s (en Noviembre de 2013). Así pues:

$$V_{corriente} = 134,8 \frac{cm}{s} \approx 1,4 \frac{m}{s}$$

Para calcular las fuerzas ejercida por el viento y la corriente se utilizan las siguientes fórmulas:

$$F_v = 0,5 \cdot C_s \cdot C_h \cdot \rho \cdot V_{viento}^2 \cdot A_{obra\ muerta}$$

donde:

- $F_v$  es la fuerza en N del viento.
- $C_s = 1,0$
- $C_h = 1,1$
- $\rho$  es la densidad del aire,  $1,222 \text{ kg/m}^3$ .
- $V_{viento}$  es la velocidad del viento (23,6 m/s).
- $A_{obra\ muerta}$  es el área proyectada por la obra viva del barco ( $760,5 \text{ m}^2$ ).

Por lo que la fuerza del viento es:

$$F_v = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,222 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(23,6 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 760,5 \text{ m}^2 = 284680 \text{ N}$$

$$F_c = C \cdot A_{obra\ viva} \cdot V_{corriente}^2$$

donde:

- $F_c$  es la fuerza en N de la corriente.
- $C = 72,37$
- $V_{corriente}$  es la velocidad de la corriente (1,4 m/s).
- $A_{obra\ viva}$  es el área proyectada por la obra viva del barco ( $514,1 \text{ m}^2$ ).

La fuerza de la corriente es:

$$F_c = 72,37 \cdot 514,1 \text{ m}^2 \cdot \left(1,4 \frac{m}{s}\right)^2 = 72922,6 \text{ N}$$

Suponiendo un eje de coordenadas en la cuaderna 60, el croquis de las fuerzas ambientales sobre el buque proyecto y el empuje de los propulsores queda como se ve en la siguiente imagen.

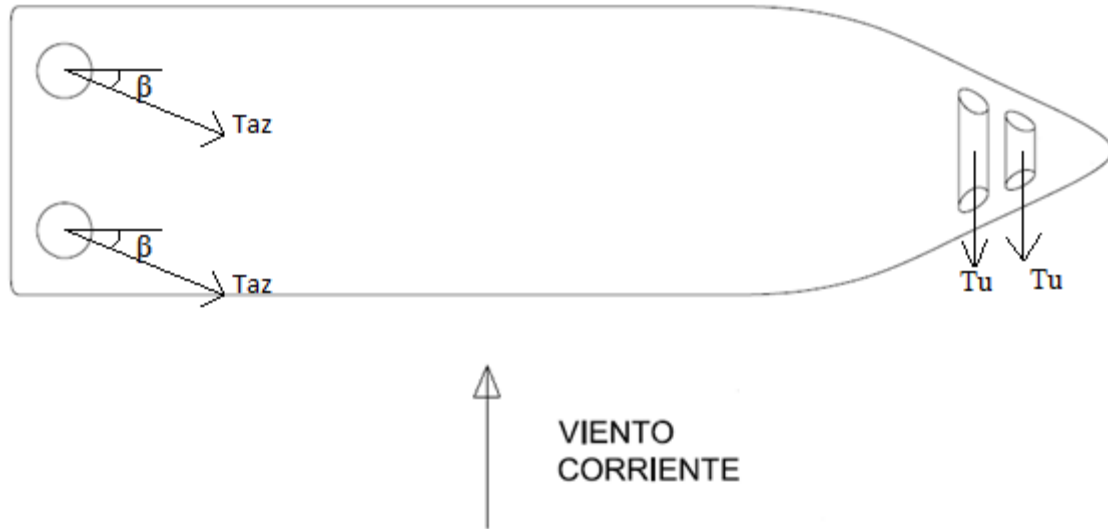


Figura 9. Reparto de empuje de propulsores en posicionamiento dinámico

- Posición X de los Azipod: -39,00 m.
- Posición X propulsor transversal 1: 31,85 m.
- Posición X propulsor transversal 2: 31,20 m.
- Punto de aplicación X de la fuerza de la corriente: -0,32 m.
- Punto de aplicación X de la fuerza del viento: 16 m.

Para esta primera aproximación se considera que los propulsores azimutales de popa operan con el mismo ángulo y el mismo empuje. Además, para igualar el número de variables y de incógnitas, se supone que los dos propulsores de proa tienen el mismo empuje.

Se forma entonces el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} -2 \cdot T_{Az} \cdot \sin \beta - 2 \cdot T_u + F_{cy} + F_{vy} = 0 \\ -T_u \cdot x_1 - T_u \cdot x_2 - T_{Az} \cdot \sin \beta \cdot x_3 - T_{Az} \sin \beta \cdot x_4 + F_{CM} + F_{vM} = 0 \end{cases}$$

Cuya solución indica que el empuje necesario en los propulsores de proa debe ser de  $T_u = 131 \text{ kN}$ . Con la relación de empuje/potencia recomendada de 0,119 kN/kW, se deduce, por tanto, que la potencia necesaria es de 1100 kW.

Ya que irán instalados dos propulsores transversales, la potencia total será de 2200 kW. Una de las exigencias del sistema de posicionamiento dinámico es redundancia en los equipos, por lo que han de instalarse dos propulsores transversales en proa. La potencia mínima entonces exigida de forma individual a cada propulsor transversal es 1100 kW. Se han elegido sendos propulsores de la casa Wärtsilä del modelo CT/FT200M, cuyas características se pueden ver en esta tabla:

Type	Frecuencia eléctrica (Hz)	Input (rpm)	Output (rpm)	Máxima potencia (kW)	D (mm)	L (mm)	Masa (kg)
CT/FT200M	50	975	270	1262	2000	2250	8100

Tabla 11. Características técnicas de los thruster de proa

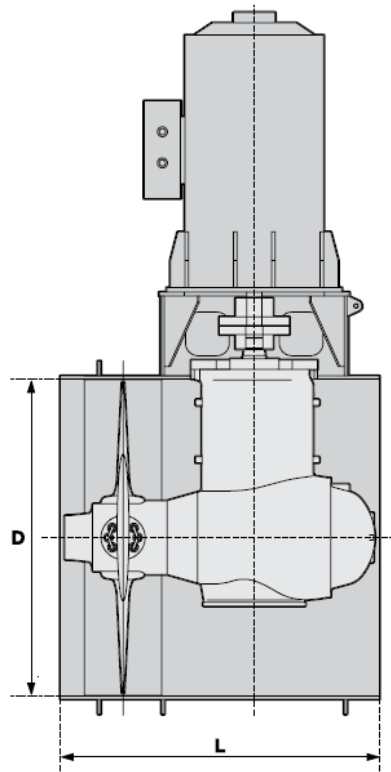


Figura 10. Perfil del thruster de proa con las dimensiones principales



## **6. Croquis del buque con propulsores**

En el Anexo de este cuaderno se presentan tres perspectivas del buque, una de la sección de la mecha de los Azipod desde la popa del buque, otra de la vista de perfil de popa a proa y una planta del buque completo. La cuaderna 0 está situada en el eje de ambas unidades Azipod.

Se representan también en el croquis los propulsores transversales.





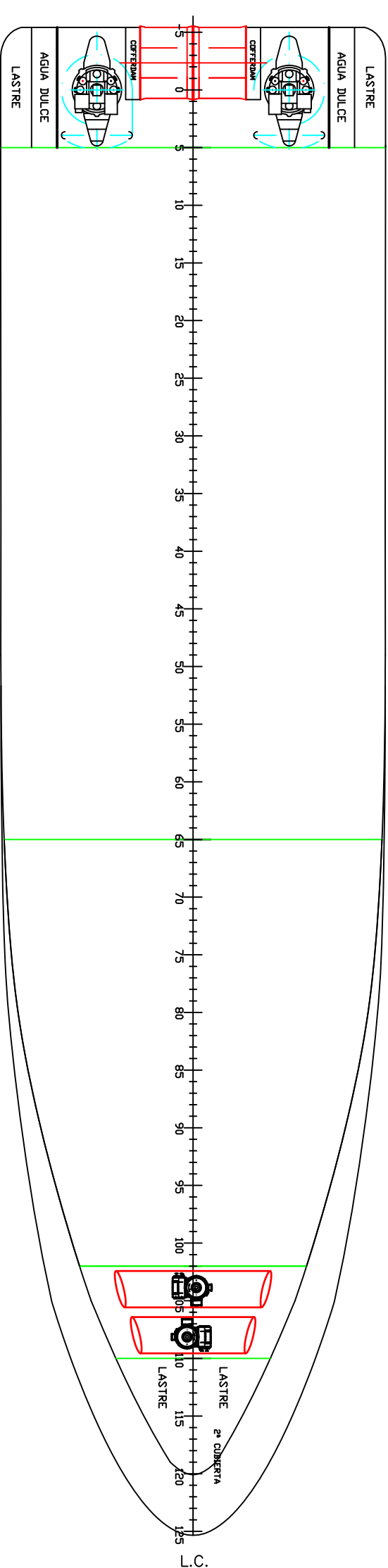
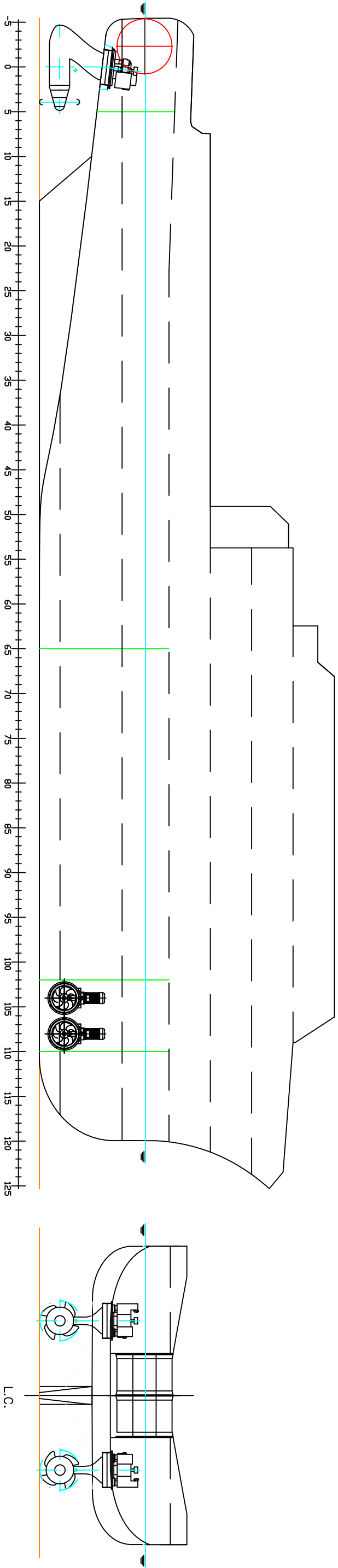
## **7. Bibliografía general.**

### **7.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] A. Baquero Mayor. *Propulsión del buque*. ETSIN.
- [3] ABB Group. [Web en línea]. <> <http://www.abb.com/>
- [4] José Manuel Villar Arenal. *Posicionamiento dinámico: principios, características y operaciones*. Escuela Técnica Superior de Náutica (Universidad de Cantabria).
- [5] A. Baquero Mayor. *Maniobrabilidad del Buque*. ETSIN.
- [6] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [7] *Convenio SOLAS*. OMI.
- [8] *Protocolo de 1988 relativo al Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966*. OMI.
- [9] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.
- [10] Puertos del Estado. [Web en línea]. Oceanografía y meteorología. <> <http://www.puertos.es>.
- [11] Wärtsilä. [Web en línea]. <> *Transverse Thrusters*. <http://www.wartsila.com/>.


### **7.2. Bibliografía complementaria**

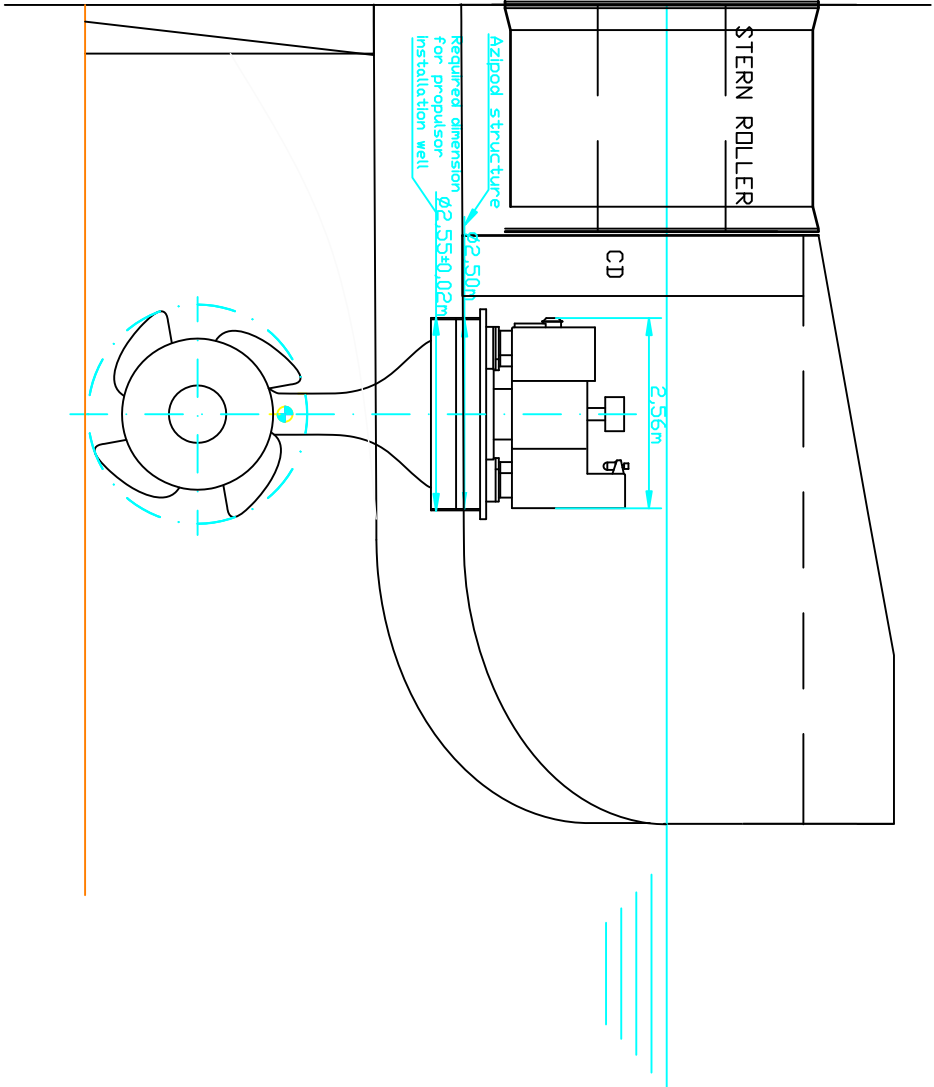
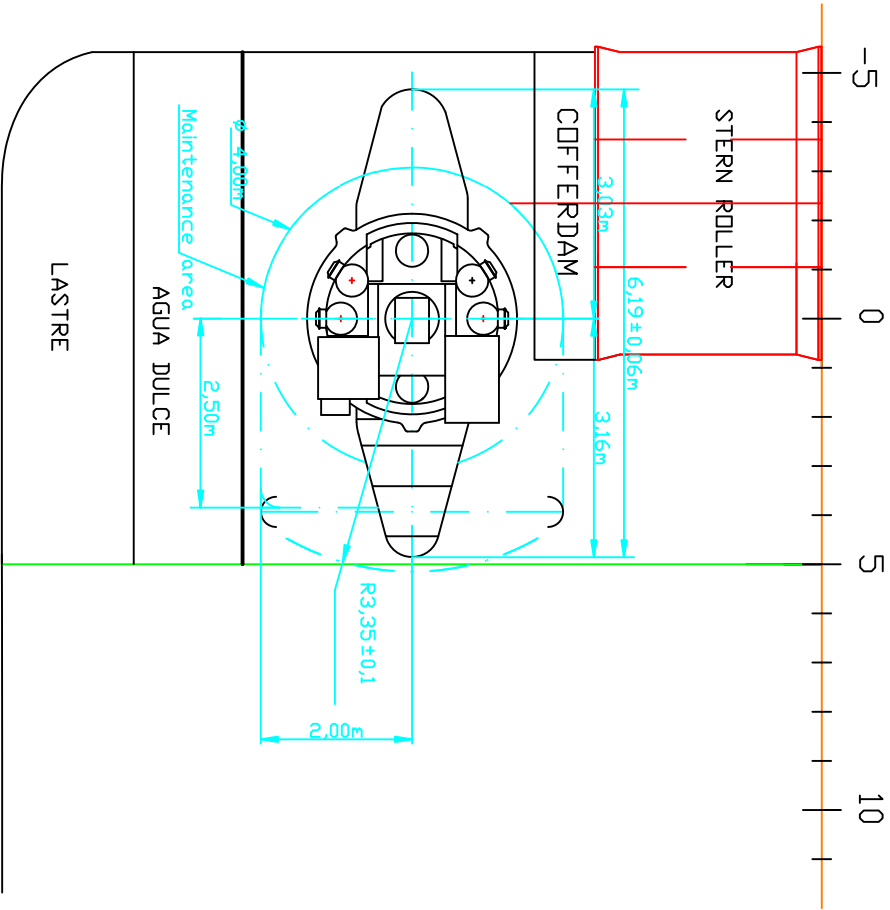
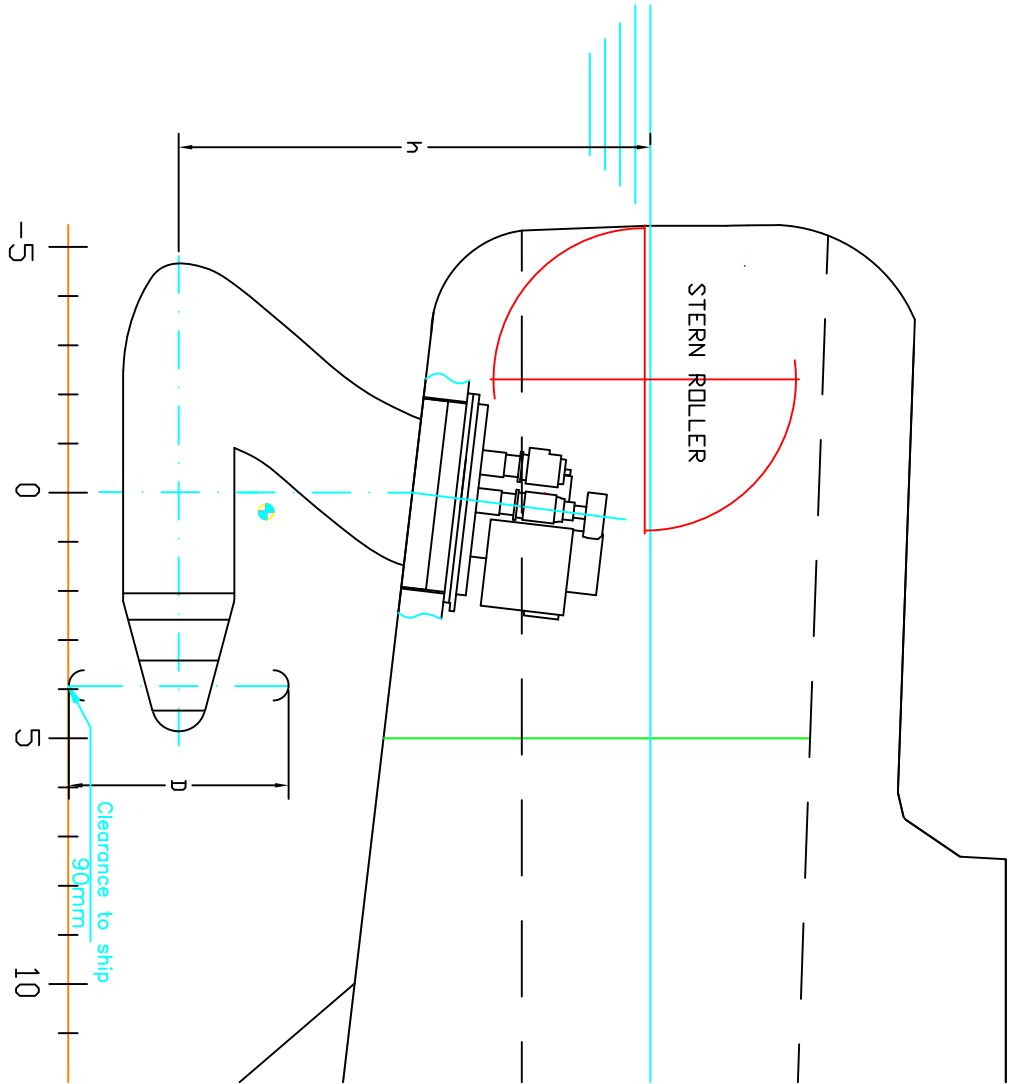
- [1] Foto de portada. Olympic Hera. <> <http://www.ulstein.com/>
- [2] José M<sup>a</sup> González Álvarez-Campana. *Campos de Estelas*. ETSIN.
- [3] A. Baquero Mayor. *Teorías de funcionamiento de la hélice*. ETSIN.
- [4] A. Baquero Mayor. *Resistencia al avance*. ETSIN.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA MÁXIMA, L <sub>oa</sub>	85,00 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES, L <sub>pp</sub>	81,46 m
MANGA DE TRAZADO, B	21,70 m
DIÁMETRO DISCO DE LA HÉLICE, D	2,90 m
IMERSIÓN EJE DE LA HÉLICE, h	6,24 m
DIÁMETRO HÉLICES DE PROA	2,00 m
CLARA ENTRE CUADERNAS:	650 mm

				AUTOR:	
				José Larrañeta García	
				TUTOR:	
				José María Riola Rodríguez	
E.T.S.I. NAVALES					
ESCALA:	FORMATO:	HOJA:	Nº PFC:	BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL NORTE 4500 TPM	
1:300	A3	1/1	223		
DISEÑO:				CROQUIS DEL BUQUE CON PROPULSORES	
				FECHA:	
				29/09/2014	



L.C.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA MÁXIMA, Loa	85,00 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES, Lpp	81,46 m
MANGA DE TRAZADO, B	21,70 m
DIÁMETRO DISCO DE LA HÉLICE, D	2,90 m
IMERSIÓN EJE DE LA HÉLICE, h	6,24 m
DIÁMETRO HÉLICES DE PROA	2,00 m
CLARA ENTRE CUADERNAS:	650 mm

				AUTOR:	
E.T.S.I. NAVALES				José Larrañeta García	
				TUTOR:	
				José María Riola Rodríguez	
ESCALA:	FORMATO:	HOJA:	Nº PFC:	BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL NORTE 4500 TPM	
1:100	A3	1/1	223		
				DISEÑO:	
				CODASTE DEL BUQUE CON PROPULSORES AZIPOD CO1400	
				FECHA:	
				29/09/2014	

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 7**

**Planta propulsora y cámara de máquinas**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Elección del equipo propulsor .....</b>	<b>6</b>
2.1. Número de grupos electrógenos y potencia requerida .....	7
2.2. Elección de los grupos electrógenos .....	10
<b>3. Alternativas de tipo de combustible.....</b>	<b>12</b>
3.1. Combustible líquido .....	12
3.2. Combustible gas .....	14
3.3. Decisión tomada .....	17
3.4. Autonomía .....	20
<b>4. Sistemas en cámara de máquinas.....</b>	<b>22</b>
4.1. SISTEMA DE COMBUSTIBLE .....	22
4.1.1. Cálculo del tanque de servicio diario .....	25
4.1.2. Cálculo del tanque de sedimentación .....	25
4.1.3. Cálculo de la bomba de trasiego .....	26
4.1.4. Cálculo del tanque de reboses .....	26
4.1.5. Cálculo de los tanques almacén de combustible .....	26
4.1.6. Cálculo de las purificadoras .....	27
4.2. SISTEMA DE ACEITE .....	29
4.2.1. Cálculo del tanque almacén de aceite de motores .....	30
4.2.2. Cálculo de la bomba de llenado de aceite lubricante .....	31
4.2.3. Cálculo del tanque almacén de aceite de cilindros .....	31
4.2.4. Cálculo del tanque de servicio diario de aceite de cilindros .....	32
4.2.5. Cálculo de la bomba de aceite de cilindros .....	32
4.3. SISTEMA DE SENTINAS .....	32
4.3.1. Diámetro del colector de sentinas .....	33
4.3.2. Bombas de sentinas .....	33
4.3.3. Separador de sentinas .....	33
4.3.4. Bomba auxiliar de sentinas .....	34
4.3.5. Tanque de sentinas .....	34
4.4. SISTEMA DE LODOS .....	34
4.4.1. Tanque de lodos .....	35
4.4.2. Tanque de aguas aceitosas .....	35
4.4.3. Tanque de aceite sucio .....	35
4.4.4. Bomba de lodos.....	36
4.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	36
4.5.1. Bombas stand-by de circulación (4P03, 4P05) .....	38
4.5.2. Bomba de agua salada (4P11) .....	38
4.5.3. Intercambiador de calor (4E08).....	39
4.5.4. Tanque de expansión (4T05).....	40
4.5.5. Precalentador (4N01) .....	40
4.6. SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS.....	41
4.6.1. Bombas contra incendios .....	41
4.7. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO .....	43

4.7.1. Sistema de aire de arranque.....	43
4.7.1.1. Cálculo del volumen de aire de arranque .....	44
4.7.1.2. Botella de aire de arranque .....	45
4.7.1.3. Compresor de aire de arranque.....	46
4.7.2. Sistema de aire de servicios generales .....	47
4.7.2.1. Compresor de aire de servicios generales.....	48
4.7.2.2. Botella de aire de servicios generales.....	48
4.7.3. Sistema de instrumentación y control .....	48
4.8. SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN DE GASES .....	49
4.8.1. Dimensionamiento de los colectores de gases de escape .....	50
4.8.2. Silenciador .....	51
4.8.3. Caldereta de exhaustación.....	52
4.8.4. Dimensionamiento del guardacalor.....	52
4.9. SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	53
4.9.1. Caudal de aire en cámara de máquinas .....	54
4.9.2. Cálculo de los ventiladores .....	57
4.10. SISTEMAS DE AGUA.....	57
4.10.1. Sistema de agua sanitaria .....	58
4.10.1.1. Bomba de trasiego de agua sanitaria .....	58
4.10.1.2. Cálculo del tanque hidróforo .....	59
4.10.1.3. Calentador de agua sanitaria.....	59
4.10.2. Sistema de aguas residuales .....	60
4.10.2.1. Cálculo del volumen del tanque de aguas residuales .....	61
4.10.2.2. Cálculo de la descarga a tierra de las aguas residuales.....	62
4.10.2.3. Cálculo de la descarga al mar de las aguas residuales.....	63
4.10.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales .....	63
4.11. SISTEMA DE LASTRE .....	64
4.11.1. Bombas de lastre .....	64
4.11.2. Colector de tomas de mar.....	65
4.11.3. Planta de tratamiento de agua de lastre .....	66
<b>5. Disposición general de la cámara de máquinas .....</b>	<b>67</b>
<b>6. Resumen de resultados.....</b>	<b>70</b>
<b>7. Bibliografía general.....</b>	<b>73</b>
7.1. Bibliografía básica.....	73
7.2. Bibliografía complementaria.....	73
<b>8. ANEXO I – Disposición general de la cámara de máquinas .....</b>	<b>8</b>
<b>9. ANEXO II – Aceite lubricante Repsol.....</b>	<b>9</b>
<b>10. ANEXO III – Catálogo de bombas Azcue y de ventiladores Sodeca .....</b>	<b>10</b>
<b>11. ANEXO IV – Wärtsilä 34DF product guide .....</b>	<b>11</b>

## **Figuras**

Figura 1. Plano de los Wärtsilä 9L34DF con las cotas principales .....	10
Figura 2. Zonas SECA de la Unión Europea.....	16
Figura 3. Disposición de los tanques de almacenamiento y servicio de MDF.....	18
Figura 4. Tanques de almacenamiento de CNG .....	19
Figura 5. Principales dimensiones de la GVU.....	19
Figura 6. Diagrama de flujo del sistema de combustible gas .....	22
Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de combustible MDF.....	24
Figura 8. Sistema de trasiego y purificación de MDF .....	28
Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de aceite lubricante de cárter húmedo.....	30
Figura 10. Esquema del sistema de lodos.....	34
Figura 11. Diagrama de flujo del sistema de refrigeración de los motores .....	37
Figura 12. Dimensiones principales del intercambiador de placas .....	39
Figura 13. Precalentador.....	40
Figura 14. Esquema del sistema de aire de arranque.....	44
Figura 15. Dimensiones de las botellas de aire de arranque.....	46
Figura 16. Esquema del sistema de aire de servicios generales .....	47
Figura 17. Sistema externo de gases de exhaustación.....	49
Figura 18. Disposición de la ventilación de gases de escape .....	50
Figura 19. Dimensiones del silenciador de gases de exhaustación .....	51
Figura 20. Guardacalor del buque proyecto .....	52
Figura 21. Esquema de la ventilación en cámara de máquinas .....	53
Figura 22. Esquema del sistema de alimentación de agua dulce sanitaria .....	58
Figura 23. Esquema del sistema de alimentación de agua caliente sanitaria .....	60
Figura 24. Esquema del sistema de descarga de aguas residuales.....	61
Figura 25. Esquema del sistema de lastre.....	63
Figura 26. Sistema de tratamiento de agua de lastre Wärtsilä AQ-300-UV .....	66
Figura 27. Plano de las distancias mínimas entre los grupos Wärtsilä 9L34DF .....	67

## **Tablas**

Tabla 1. Dimensiones principales de los Wärtsilä 9L34DF .....	10
Tabla 2. Especificaciones de los MDF .....	13
Tabla 3. Especificaciones de los HFO .....	14
Tabla 4. Especificaciones del gas combustible .....	17
Tabla 5. Distancias del puerto de Bilbao a otros puertos internacionales .....	21
Tabla 6. Dimensiones principales del intercambiador de placas .....	39
Tabla 7. Dimensiones principales de los precalentadores .....	40
Tabla 8. Dimensiones del silenciador de gases de exhasutación .....	51
Tabla 9. Dimensiones de la conexión universal según Marpol .....	62
Tabla 10. Dimensiones principales de las distancias mínimas entre los Wärtsilä 9L34DF .....	67
Tabla 11. Rendimientos de bombas .....	70
Tabla 12. Resumen de equipos y sistemas en cámara de máquinas .....	71



## **1. Introducción**

Una vez hecho el cálculo de la potencia necesaria para la propulsión y estando ya elegidos el número y características de los propulsores, se hace en este cuaderno la definición de la planta de energía. Como se exige en las especificaciones del proyecto, el sistema de propulsión debe ser diesel-eléctrico y se debe capacitar al buque con un sistema de posicionamiento dinámico nivel 2 (DP (AA) según la notación de Lloyd's Register), por lo que la capacidad y el número de los motores principales estará condicionada por ello.

Hay que tener también en cuenta que la velocidad en pruebas debe ser 17 nudos al 90% MCR, con lo que la capacidad de potencia en cámara de máquinas ha de ser la suficiente para cumplir este requisito.

Se hace también en este cuaderno el cálculo de los equipos y servicios en cámara de máquinas y se presenta la disposición general de ésta.

Se recuerdan las exigencias de las especificaciones del proyecto:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Al ser un buque con propulsión diesel-eléctrica, los motores de la cámara de máquinas no están acoplados a los propulsores mediante ejes, sino que se trata de grupos electrógenos compuestos por un motor y un alternador que suministran la energía eléctrica necesaria para los diversos servicios que requiera el buque.

Para hacer correctamente este cuaderno ha habido que seguir la espiral de proyecto muy concienzudamente, especialmente en lo que respecta a los equipos y servicios del buque. Para elegir unos grupos electrógenos adecuados y dimensionar de forma adecuada la cámara de máquinas se debe analizar detalladamente la demanda de potencia que se requiere en las diferentes situaciones de operación del buque.

A la hora de tomar decisiones se debe cuidar cumplir con la reglamentación de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y los Convenios SOLAS y MARPOL.

## **2. Elección del equipo propulsor**

En este apartado se analiza el procedimiento de elección de los motores principales a instalar en el buque proyecto, los cuales tendrán la función de suministrar la energía requerida para la propulsión, así como para el resto de equipos y servicios auxiliares que permitan el cumplimiento de la misión. Se han hecho en cuadernos anteriores cálculos y estimaciones de la potencia necesaria que habrá que tener en cuenta al tomar una decisión.

Las especificaciones exigen un sistema de propulsión diesel-eléctrico. Esto implica que en la cámara de máquinas los motores principales deben ir acoplados a generadores eléctricos que transformen en energía eléctrica la potencia proveniente de esos motores. La electricidad que se produce alimenta a los motores de los propulsores, que son eléctricos, y se emplea además para proporcionar suministro de energía al resto de consumidores eléctricos del barco.

Debido a las características que tiene este sistema de propulsión, se pueden enumerar una serie de ventajas y desventajas:

### ➤ *Ventajas*

-Desde el punto de vista de la potencia se tiene la ventaja de que en el generador eléctrico el régimen de funcionamiento óptimo es muy amplio. Esto permite trabajar a un mejor rendimiento.

-Los motores eléctricos pueden suministrar el máximo par a 0 rpm y son capaces de absorber la potencia que se les demanda en cualquier circunstancia.

-Menor consumo de combustible a carga parcial.

-Las fuentes de energía primaria, se pueden disponer en aquellos compartimentos que más convenga, es decir, teniendo en cuenta empacho, estabilidad, mantenimiento, etc.

- Se pueden combinar las fuentes de energía primaria para dar un mayor rendimiento, economía etc., ya que el suministro final es la energía eléctrica.

-El mantenimiento de las máquinas se puede programar a largo plazo, al existir mayor flexibilidad con éstas.

-La utilización de la energía de propulsión puede utilizarse en otras situaciones de carga y descarga, puerto, fondeo, grúas, etc.

-Se independiza la cámara de máquinas de la línea de ejes.

-Menores problemas en principio de ruidos y vibraciones.

➤ *Desventajas*

-Menor rendimiento global de la instalación a causa de mayores pasos intermedios hasta llegar a la propulsión.

-Mayor empacho y peso por caballo.

-Mayor coste inicial de la instalación.

-Necesidad de mayor formación de la tripulación.

-Aumento de costes por control y mantenimiento.

-A veces cuando se utilizan motores de corriente alterna aparecen vibraciones y ruidos apreciables que se transmiten a la estructura del buque y al exterior, cuando las tensiones y las intensidades en los devanados no son sinusoidales, lo que ocurre cuando la alimentación eléctrica de los motores procede de convertidores estáticos.

## **2.1. Número de grupos electrógenos y potencia requerida**

La condición de las especificaciones de dotar al buque proyecto con posicionamiento dinámico nivel 2 exige cierto nivel de redundancia en los equipos. En el caso de los grupos electrógenos habrá que instalar  $n+1$  grupos de los necesarios, puesto que uno de ellos deberá ser de respeto.

En base a este condicionante las alternativas que se barajaron fueron instalar en el espacio de cámara de máquinas 4 grupos electrógenos o solamente 2, decantándose la elección finalmente por 4 grupos. Uno de los motivos para descartar la opción de equipar al buque con sólo dos grupos electrógenos es que, de ese modo, supondría la instalación de unos motores de gran empacho y peso que pudieran ser ambos capaces de suministrar individualmente la potencia total del buque proyecto. Además el rendimiento global de la instalación sería peor que con 4 grupos, ya que el régimen de funcionamiento del motor no alcanzaría el óptimo durante la operación del buque en alguna de las diferentes situaciones de carga eléctrica. Por otra parte, con la alternativa elegida se logra aumentar la seguridad del buque ya que habrá más equipos. Por lo tanto, se instalarán **4 grupos electrógenos**.

Para hacer la elección de la capacidad de potencia de los grupos generadores se debe cuidar cumplir con los criterios que exijan las distintas operaciones del buque, esto es, que sean capaces de abastecer a las tres necesidades de potencia principales del buque:

- Velocidad en navegación (Holtrop).
- Tiro a punto fijo.
- Posicionamiento dinámico.

a) *Navegación*

Teniendo en cuenta el régimen de servicio establecido por las especificaciones, 17 nudos al 90% MCR, la potencia motor deberá ser en navegación la potencia requerida para dar esa velocidad más la potencia eléctrica que se deba generar, todo ello al 90% MCR.

$$MCR = \frac{BHP_{requeridos \text{ para dar 17 nudos}} + potencia \text{ eléctrica generador}}{0.90}$$

En el cuaderno 6, *Cálculo de potencia y proyecto de propulsores*, se explicó que para conseguir la velocidad de 17 nudos que exigen las especificaciones, la potencia necesaria en los propulsores Azipod CO 1400 se podía estimar, durante el tiempo de servicio del buque, en un intervalo de entre 7957 kW y 9150 kW. Por ello, se eligieron esos propulsores con unos motores síncronos que podían entregar hasta una potencia de 4500 kW.

Para conocer la potencia eléctrica que se requiere para el resto de servicios del buque hay que haber definido y dimensionado previamente todos los equipos y servicios que se exigen, tanto por la reglamentación, como por la misión del buque. La descripción de todos esos equipos se hace en el cuaderno posterior número 8, *Equipos y servicios*, y por tanto no se puede conocer aún la demanda eléctrica que necesitarán en su conjunto. Por ello se estimará en este punto del proyecto el valor de la potencia eléctrica para el resto de servicios y equipos del buque en un valor de 1500 kW. Así pues:

$$MCR = \frac{2 \cdot 4500kW + 1500kW}{0.90} = 11667 \text{ kW}$$

La potencia total que suministre el conjunto de grupos electrógenos que se instale deberá superar este valor y será a partir de la cual se dimensione su capacidad.

b) *Tiro a punto fijo*

En el cuaderno 2, *Dimensionamiento*, se estimó que el tiro a punto fijo fueran 150 toneladas. No obstante, no es una condición del proyecto dotar a este buque de una tracción a punto fijo determinada y ésta debe ser determinada a partir de la potencia que se requiera instalar en los propulsores y en la cámara de máquinas. La condición determinante para la capacidad de tracción a punto fijo es, por ello, la velocidad en navegación. Dependiendo de la potencia que puedan ofrecer los propulsores se capacita al buque con una tracción a punto fijo.

La potencia máxima de los Azipod CO 1400 es 4500 kW, lo que hace un total de 9000 kW.

Se puede hacer la siguiente aproximación:

$$TPF \cong \frac{BHP}{80} = \frac{9000kW}{80} = \frac{12237kW}{80} = 153t$$

Con lo cual se considera que el tiro a punto fijo (TPF) que se obtiene con la potencia total de los Azipod es de una capacidad suficiente para los requisitos operativos del buque. Es posible dotar al buque con una capacidad de **150 toneladas** de tiro a punto fijo, lo cual se detallará en el siguiente cuaderno número 8, *Equipos y servicios*.

*c) Posicionamiento dinámico*

El reparto de empuje de los propulsores en posicionamiento dinámico varía según las condiciones ambientales en las que deba mantener la posición el buque, contrarrestando las fuerzas del viento, las olas y las corrientes. El nivel de exigencia de potencia requerido variará, por tanto, en un cierto intervalo dentro de esta condición operativa de posicionamiento dinámico.

Para comprobar cuál es la capacidad de potencia exigida durante esta condición operativa se calculará una estimación con los valores máximos que pudieran exigirse a los propulsores.

Si todos los propulsores, tanto Azipod como transversales, operan a la máxima potencia, los grupos electrógenos deberían ser capaces de suministrar una potencia total de:

$$P_{Az} + P_{tr} + P_S = 2 \cdot 4500kW + 2 \cdot 1262kW + 1500kW = 13024kW$$

siendo  $P_{Az}$  la potencia de los Azipod,  $P_{tr}$  la potencia de los propulsores transversales y  $P_S$  la potencia del resto de servicios del buque.

Sin embargo, cuando el buque esté operando en posicionamiento dinámico no se le va a exigir nunca que los propulsores operen de forma conjunta a la máxima potencia, ya que en ese supuesto las condiciones ambientales serían tan adversas que este modo de operación no sería viable.

Se puede concluir finalmente que la potencia está determinada por la que se requiere en navegación, que es la operación que impone la condición más alta y además es un requisito del proyecto. Por ello, la potencia mínima necesaria en cámara de máquinas es **11667 kW**.

## 2.2. Elección de los grupos electrógenos

Considerando el estudio realizado en el apartado anterior, se sabe que el número de grupos electrógenos que se deben instalar son 4, uno de los cuales de respeto, y la potencia mínima que debe suministrar el conjunto de ellos es 11667 kW. Por lo tanto, la potencia mínima de cada grupo debe ser 3889 kW. Los grupos electrógenos elegidos son los **Wärtsilä Genset 9L34DF** de la casa Wärtsilä y motores de 4 tiempos, capaces de suministrar una potencia nominal en el motor de 4050 kW cada uno a 750 rpm (50 Hz). Cada grupo tiene un peso de 84 toneladas y un rendimiento del generador acoplado del 96%, con lo que la potencia eléctrica de este es 3890 kW.

El Wärtsilä 9L34DF es un motor de combustible dual de cuatro tiempos, no reversible, 9 cilindros en línea, con turbocompresor e inyección directa de combustible líquido e indirecta de gas. El motor puede operar en modo gas o en modo diésel.

Los datos técnicos principales de los motores dados por el fabricante son:

Cylinder bore.....	640 mm
Piston stroke.....	400 mm
Piston displacement.....	36,3 l/cyl
Cylinder output.....	450 kW/cyl
Engine speed.....	750 rpm
Mean effective pressure.....	19,8 bar
Piston speed.....	10,0 m/s
Number of valves.....	2 inlet and 2 exhaust valves
Generator voltage.....	0,4 – 13,8 kV
Generator efficiency.....	0,96

En la siguiente figura puede verse un croquis con las cotas principales de los grupos electrógenos Wärtsilä 9L34DF.

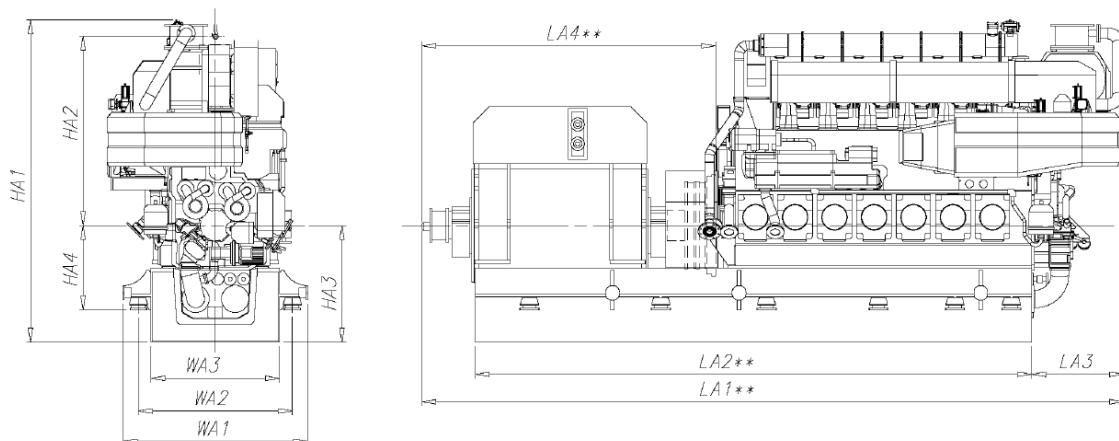


Figura 1. Plano de los Wärtsilä 9L34DF con las cotas principales

Engine	LA1**	LA2**	LA3	LA4**	WA1	WA2	WA3	HA1	HA2	HA3	HA4
W 9L34DF	10475	8850	1150	3845	2890	2510	2200	4180	2345	1630	1055

Tabla 1. Dimensiones principales de los Wärtsilä 9L34DF

\*\*Dependant on generator and flexible coupling.

All dimensions in mm.

Respecto a la operación de los grupos en posiciones inclinadas, es decir, cuando se producen escoras, trimados o cabeceos; el fabricante indica los máximos ángulos de inclinación a los cuales el motor operará satisfactoriamente:

- Transverse inclination, permanent (list).....15°.
- Transverse inclination, momentary (roll).....22,5°.
- Longitudinal inclination, permanent (trim).....10°.
- Longitudinal inclination, momentary (pitch).....10°.

En cuanto al combustible que se puede emplear, se indican las especificaciones del fuel oil y el gas:

- Fuel oil specification:  
700cSt/50°C  
7200sR1/100°F  
ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB
- Natural gas:  
Methane number: 80  
LHV: min. 28 MJ/Nm<sup>3</sup>, 5,5bar  
BSEC 7700 kJ/kWh

El consumo específico de los grupos viene dado en función del régimen de funcionamiento de la siguiente forma:

- Fuel oil consumption (Modo diésel, MD y modo gas, MG)
  - At 100% load.....MD: 191 g/kWh ; MG: 2,0 g/kWh
  - At 75% load.....MD: 195 g/kWh ; MG: 2,8 g/kWh
  - At 50% load.....MD: 202 g/kWh ; MG: 4,9 g/kWh
- Fuel gas consumption
  - At 100% load.....7629 kJ/kWh
  - At 75% load.....8067 kJ/kWh
  - At 50% load.....8677 kJ/kWh

La elección de estos grupos no solo se condicionó a la capacidad de potencia que debiera suministrar cada grupo, sino que también se tuvo que comprobar que las opciones que se fuesen barajando fueran acordes con el espacio disponible en cámara de máquinas. Se podía dar el caso de que unos grupos cumpliesen con la potencia requerida pero, en cambio, por sus dimensiones no eran aptos para el buque proyecto.

En el Anexo II se adjunta la guía de producto (Wärtsilä 34DF Product Guide) de los grupos elegidos, con las propuestas de datos y sistemas para la fase inicial de diseño de las instalaciones de motores marinos.

### **3. Alternativas de tipo de combustible**

La información facilitada por el fabricante de los grupos electrógenos en su “Product guide” expone las características que debe tener el combustible aceptable para los motores. Las alternativas que fueron analizadas debían cumplir con todos los requisitos impuestos, tanto por el fabricante de los motores, como por la normativa vigente.

La reglamentación a cumplir en lo referente al combustible que se emplee es, principalmente, el Convenio MARPOL 73/78 y la Directiva 2012/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 21 de Noviembre de 2012 por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.

Los motores Wärtsilä 34DF son en general instalados para operar de forma dual, lo cual significa que el motor puede funcionar tanto en modo gas como en modo diesel. El modo de funcionamiento se puede cambiar mientras el motor está en marcha, dentro de ciertos límites, sin interrupción de la generación de electricidad. Si el suministro de gas fallase, el motor cambiaría automáticamente al funcionamiento en modo diesel.

#### **3.1. Combustible líquido**

Se estudiaron dos opciones principales del tipo de combustible líquido: Marine Diesel Fuel (MDF) y Heavy Fuel Oil (HFO). El fabricante ofrecía además la posibilidad de Bio Fuels líquidos, pero esta alternativa se desechó.

En las especificaciones del fuel líquido se indica que “el carburante no deberá contener ninguna sustancia ni producto químico añadido que ponga en peligro la seguridad de las instalaciones o afecte adversamente al rendimiento de los motores o sea perjudicial para el personal o contribuya en general a la contaminación del aire”. Así pues, las opciones de combustibles líquidos estudiadas que se muestran en el “Product guide” para los motores Wärtsilä 34DF son:

- a) Marine Diesel Fuel (MDF). Los tipos de combustible destilado son ISO-F-DMX, DMA, DMZ, DMB. Estos tipos de combustibles se conocen como MDF (Marine Diesel Fuel) y se describen a continuación:
  - DMX: Un combustible adecuado para su uso a temperaturas del ambiente de hasta -15°C sin calentar el combustible. Debido a su temperatura de inflamación reducida su uso suele estar restringido a los motores de los botes salvavidas y a algunos equipos de emergencia. Además su baja viscosidad puede impedir el uso en motores, a menos que el combustible se pueda enfriar lo suficiente para satisfacer el mínimo límite de viscosidad de inyección del motor.



- DMA: Un combustible destilado de alta calidad, generalmente denominado como MGO (Marine Gas Oil).
- DMZ: Un combustible destilado de alta calidad, generalmente denominado como MGO (Marine Gas Oil). Es un tipo de fuel alternativo para motores que requieren una viscosidad superior a la especificada por el combustible de tipo DMA.
- DMB: Un combustible de uso general que puede contener pequeñas cantidades de fuel residual y que está destinado a los motores no diseñados específicamente para quemar combustibles residuales. Por lo general se denota como MDO (Marine Diesel Oil).

Las propiedades de los combustibles MDF se indican en el “Product guide” con la siguiente tabla:

Property	Unit	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Test method ref.
Viscosity before pilot fuel pump, min. <sup>1)</sup>	cSt	2.0	2.0	2.0	
Viscosity, before pilot fuel pump, max. <sup>1)</sup>	cSt	11.0	11.0	11.0	
Viscosity, before main injection pumps, min. <sup>1)</sup>	cSt	2.0	2.0	2.0	
Viscosity, before main fuel injection pumps, max. <sup>1)</sup>	cSt	24.0	24.0	24.0	
Viscosity at 40°C, min.	cSt	2	3	2	
Viscosity at 40°C, max.	cSt	6	6	11	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m <sup>3</sup>	890	890	900	ISO 3675 or 12185
Cetane index, min.		40	40	35	ISO 4264
Sulphur, max.	% mass	1.5	1.5	2	ISO 8574 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. <sup>2)</sup>	mg/kg	2	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	0.5	0.5	0.5	ASTM D664
Total sediment by hot filtration, max.	% mass	—	—	0.1 <sup>3)</sup>	ISO 10307-1
Oxidation stability, max.	g/m <sup>3</sup>	25	25	25 <sup>4)</sup>	ISO 12205
Carbon residue: micro method on the 10% volume distillation residue max.	% mass	0.30	0.30	—	ISO 10370
Carbon residue: micro method, max.	% mass	—	—	0.30	ISO 10370
Pour point (upper) , winter quality, max. <sup>5)</sup>	°C	-6	-6	0	ISO 3016
Pour point (upper) , summer quality, max. <sup>5)</sup>	°C	0	0	6	ISO 3016
Appearance	—	Clear and bright <sup>6)</sup>		<sup>3) 4) 7)</sup>	
Water, max.	% volume	—	—	0.3 <sup>3)</sup>	ISO 3733
Ash, max.	% mass	0.01	0.01	0.01	ISO 6245
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4) at 60°C , max. <sup>8)</sup>	µm	520	520	520 <sup>7)</sup>	ISO 12156-1

Tabla 2. Especificaciones de los MDF

- b) *Heavy Fuel Oil (HFO)*. Los tipos de combustibles residuales se denominan HFO (Heavy Fuel Oil). Sus características se muestran en esta tabla:

Property	Unit	Limit HFO 1	Limit HFO 2	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps <sup>1)</sup>	cSt	16...24	16...24	
Viscosity at 50°C, max.	cSt	700	700	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m <sup>3</sup>	991 / 1010 <sup>2)</sup>	991 / 1010 <sup>2)</sup>	ISO 3675 or 12185
CCAI, max. <sup>3)</sup>		850	870	ISO 8217, Annex F
Sulphur, max. <sup>4) 5)</sup>	% mass	Statutory requirements		ISO 8754 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. <sup>6)</sup>	mg/kg	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	2.5	2.5	ASTM D664
Total sediment aged, max.	% mass	0.1	0.1	ISO 10307-2
Carbon residue, micro method, max.	% mass	15	20	ISO 10370
Asphaltenes, max. <sup>1)</sup>	% mass	8	14	ASTM D 3279
Pour point (upper), max. <sup>7)</sup>	°C	30	30	ISO 3016
Water, max.	% volume	0.5	0.5	ISO 3733 or ASTM D6304-C <sup>1)</sup>
Water before engine, max. <sup>1)</sup>	% volume	0.3	0.3	ISO 3733 or ASTM D6304-C <sup>1)</sup>
Ash, max.	% mass	0.05	0.15	ISO 6245 or LP1001 <sup>1)</sup>
Vanadium, max. <sup>5)</sup>	mg/kg	100	450	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Sodium, max. <sup>5)</sup>	mg/kg	50	100	IP 501 or IP 470
Sodium before engine, max. <sup>1) 5)</sup>	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon, max.	mg/kg	30	60	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon before engine, max. <sup>1)</sup>	mg/kg	15	15	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, calcium, max. <sup>8)</sup>	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, zinc, max. <sup>8)</sup>	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, phosphorus, max. <sup>8)</sup>	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 500

Tabla 3. Especificaciones de los HFO

### 3.2. Combustible gas

La contaminación atmosférica perjudica a la salud humana y al medio ambiente en el que vivimos, y la Unión Europea actúa en varios frentes para reducirla. Mediante diferentes medidas se han reducido las emisiones de la mayoría de los contaminantes atmosféricos, en particular las de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles, amoníaco y partículas. La mayor parte de esas reducciones se han logrado en relación con las emisiones de fuentes terrestres, como las instalaciones industriales o el transporte por carretera. Está demostrado, sin embargo, que la salud de los ciudadanos de la UE y el medio ambiente se beneficiarán de manera significativa con una mayor reducción de esos contaminantes, al mismo tiempo que resulta rentable.

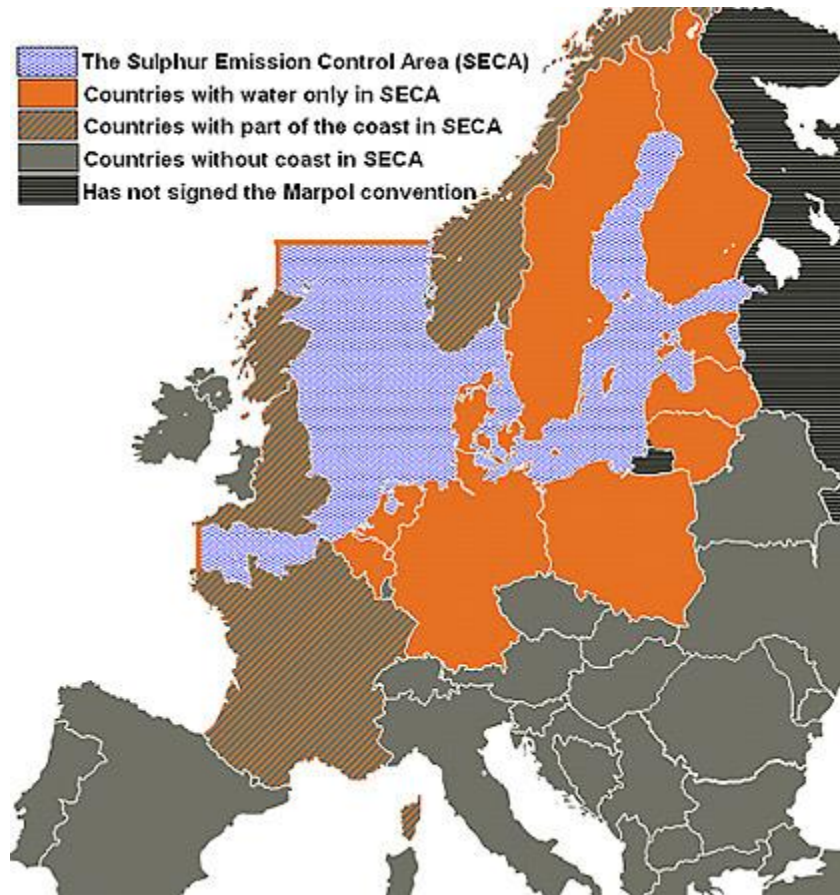
La Directiva 1999/32/CE (modificada por la Directiva 2005/33/CE) regula el contenido de azufre de los combustibles utilizados para el transporte marítimo e incorpora a la legislación de la UE determinadas reglas internacionales adoptadas en el marco de la Organización Marítima Internacional (OMI). Concretamente, la Directiva en su forma actual incorpora las reglas más estrictas sobre el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo en zonas que requieren una protección ambiental especial, denominadas zonas de control de las emisiones de azufre (SECA). El contenido de azufre de un combustible líquido determina básicamente las emisiones de SO<sub>2</sub> liberadas en la combustión de dicho combustible, es decir, la combustión de combustibles de bajo contenido de azufre da lugar a bajos niveles de emisiones de SO<sub>2</sub>. También puede lograrse una reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub> utilizando combustibles con un contenido de azufre más elevado en combinación con métodos de reducción de emisiones.

Las reglas de la OMI sobre la contaminación atmosférica causada por los buques, en particular las relativas al SO<sub>2</sub>, se revisaron en octubre de 2008. Esas reglas figuran en el anexo VI del Convenio MARPOL 73/78 sobre la contaminación por los buques (Regla 14). Los cambios más significativos que se introdujeron en esa revisión de 2008 se refieren a la contaminación por el SO<sub>2</sub>:

- Una reducción desde el 1,50% en peso del contenido de azufre de todos los combustibles utilizados para el transporte marítimo en las zonas SECA.
  - Hasta el 1,00% para el 1 de Julio de 2012;
  - Hasta el 0,10% para el 1 de Enero de 2015.
- Una reducción desde el 4,50% en peso del contenido de azufre de todos los combustibles utilizados para el transporte marítimo a escala internacional fuera de las zonas SECA.
  - Hasta el 3,50% para el 1 de Enero de 2012;
  - Hasta el 0,50% para el 1 de enero de 2020, sujeta a revisión en 2018, con un retraso posible hasta 2025.
- La posibilidad de acceder a una amplia gama de métodos de reducción de emisiones (“equivalentes”), como equipos, métodos, procedimientos o combustibles alternativos.

Las zonas de control de las emisiones de azufre (SECA) indicadas por la OMI mediante el Convenio MARPOL, son el mar Báltico, el mar del Norte, Norte América y la zona de Estados Unidos del mar Caribe.

Como se indica en las especificaciones, la zona de operación del buque proyecto es la costa Cantábrica, la cual no se encuentra dentro de las áreas especiales indicadas en MARPOL. En la siguiente imagen se pueden ver las zonas de control de las emisiones de azufre, SECA, de la Unión Europea.



*Figura 2. Zonas SECA de la Unión Europea*

No obstante, en la Regla 14 del Anexo VI de Marpol, donde se indican las prescripciones aplicables en las zonas de control de las emisiones, se dice que dichas zonas de control incluirán, además del mar Báltico y el mar del Norte, “cualquier otra zona marítima, incluidas las portuarias, designada por la Organización de conformidad con los criterios y procedimientos indicados en el apéndice III del Anexo VI”.

Los buques de pasajeros operan principalmente en los puertos o cerca de las zonas costeras y su impacto sanitario y ambiental es significativo. Con objeto de mejorar la calidad del aire en torno a los puertos y las costas, esos buques están obligados a utilizar combustibles para uso marítimo con un contenido máximo de azufre del 1,5 % hasta que se apliquen normas para el azufre más estrictas a todos los buques en las aguas territoriales, las zonas económicas exclusivas y las zonas de control de la contaminación de los Estados miembros.

En cuanto al combustible marítimo utilizado por los buques atracados en puertos de la Unión, los Estados miembros tomarán todas las medidas necesarias para garantizar que esos buques no utilicen combustibles para uso marítimo con un contenido de azufre superior al 0,10 % en masa, concediendo a la tripulación el tiempo suficiente para efectuar la eventual operación necesaria de cambio de combustible lo antes posible después del atraque y lo más tarde posible antes de la salida.

El buque proyecto no se considera buque de pasajeros, como se explicó en el cuaderno 1, sino que según la normativa de la OMI se define como “buque para fines especiales”. Sin embargo, esto no impide que se tenga en cuenta la obligatoriedad impuesta a los buques de pasaje de utilizar combustibles para uso marítimo con un contenido máximo de azufre del 1,5 %. Por otro lado hay que añadir que, a pesar de no ser un buque pensado para operar dentro de las zonas SECA, se tendrán en cuenta (a la hora de elegir el combustible que se emplee durante la operación) las restricciones indicadas anteriormente con respecto al tanto por ciento en masa de azufre, tanto de la normativa en ciernes como la de aplicación futura.

Las especificaciones del combustible gas que puede suministrarse a los motores Wärtsilä 34DF se exponen en el “Product guide” y se indica que el gas utilizado como combustible principal tiene que cumplir los requisitos de calidad mencionados a continuación:

Property	Unit	Value
Lower heating value (LHV), min <sup>1)</sup>	MJ/m <sup>3</sup> N <sup>2)</sup>	28
Methane number (MN), min <sup>3)</sup>		80...90
Methane (CH <sub>4</sub> ), min	% volume	70
Hydrogen sulphide (H <sub>2</sub> S), max	% volume	0.05
Hydrogen (H <sub>2</sub> ), max <sup>4)</sup>	% volume	3
Ammonia, max	mg/m <sup>3</sup> N	25
Chlorine + Fluorines, max	mg/m <sup>3</sup> N	50
Particles or solids at engine inlet, max	mg/m <sup>3</sup> N	50
Particles or solids at engine inlet, max size	um	5
Gas inlet temperature	°C	0...60
Water and hydrocarbon condensates at engine inlet not allowed <sup>5)</sup>		

Tabla 4. Especificaciones del gas combustible

### 3.3. Decisión tomada

Como se ha dicho, los motores Wärtsilä 34DF son en general instalados para operar de forma dual, lo cual significa que el motor puede funcionar tanto en modo gas como en modo diesel.

Cuando se trabaja en modo gas el combustible principal es gas natural, el cual se inyecta en el motor a baja presión. Se produce la ignición del gas mediante la inyección de una pequeña cantidad de diesel fuel (MDF).

Si el motor está en modo diesel funciona sólo con fuel líquido. Se emplea MDF o HFO como combustible con un sistema de inyección de combustible diesel convencional.

La decisión final de proyecto respecto al tipo de combustible a emplear por el buque es, utilizar los motores de los grupos en **modo diesel durante la navegación normal y en modo gas en puerto u otras situaciones especiales**.

El tipo de combustible líquido es **Marine Diesel Fuel (MDF)** tipo **ISO-F-DMB** (Marine Diesel Oil) de densidad  $900 \text{ kg/m}^3$  y contenido máximo de azufre del 2% en masa, con un consumo de cada grupo en modo diésel de  $195 \text{ g/kWh}$  y en modo gas de  $2,8 \text{ g/kWh}$  al régimen de funcionamiento.

Los tanques de almacenamiento y servicio de MDF se disponen a popa de cámara de máquinas y en los laterales y doble fondo de esta, como se explicó en el cuaderno 5, *Cálculos de Arquitectura Naval*.

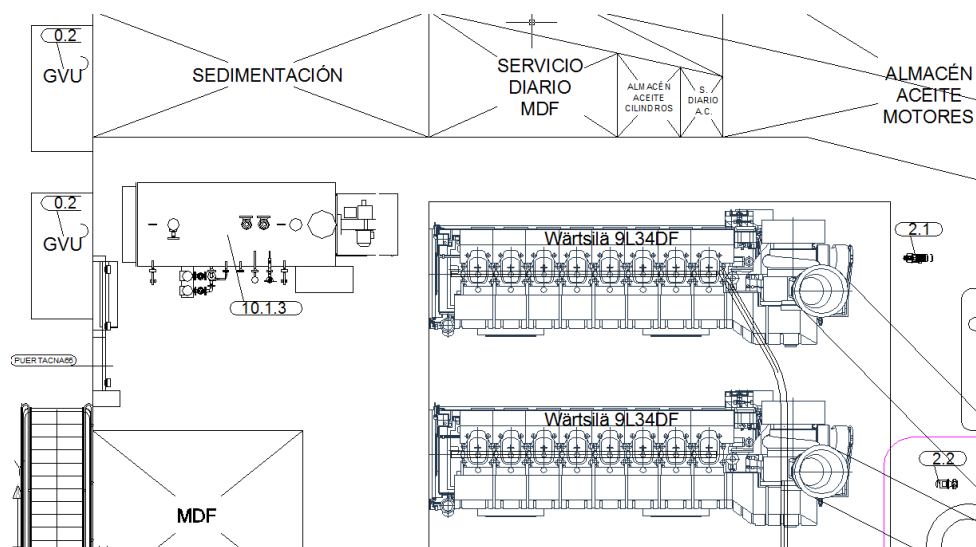


Figura 3. Disposición de los tanques de almacenamiento y servicio de MDF

El gas combustible es **Gas Natural**, el cual puede almacenarse como CNG (Compressed Natural Gas), LNG (Liquefied Natural Gas) a presión atmosférica o LNG presurizado. El consumo al régimen de funcionamiento en modo gas es  $8067 \text{ kJ/kWh}$ . Al emplear este tipo de combustible las emisiones de azufre son mínimas, lo cual permite cumplir con los límites impuestos por la normativa, como se ha explicado anteriormente.

El diseño del sistema de alimentación externo de gas combustible puede variar, pero cada sistema debe proporcionar gas natural con la temperatura y la presión correcta para cada motor. Se decide almacenar el gas necesario en un tanque (o tanques, según la capacidad que se requiera) de CNG a presión atmosférica. Los tanques donde se almacene el Gas Natural serán como los que se observan en las imágenes siguientes y se dispondrán en el buque en una zona segura a los impactos y con buena ventilación.

El volumen de carga de los tanques de CNG es  $312 \text{ Nm}^3$ , el peso de cada tanque  $1395 \text{ kg}$ , la presión interior  $30 \text{ MPa}$  aproximadamente y las dimensiones de estos  $559 \times 5400 \text{ mm}$ .





Figura 4. Tanques de almacenamiento de CNG

La capacidad y, por tanto, las dimensiones de los tanques pueden variar según la capacidad de gas que se requiera llevar el buque proyecto. Posteriormente se calculará la cantidad de CNG necesaria según la autonomía del buque.

Antes de que el gas se suministre al motor, éste pasa a través de una Unidad de Válvula de Gas, Gas Valve Unit (GVU).

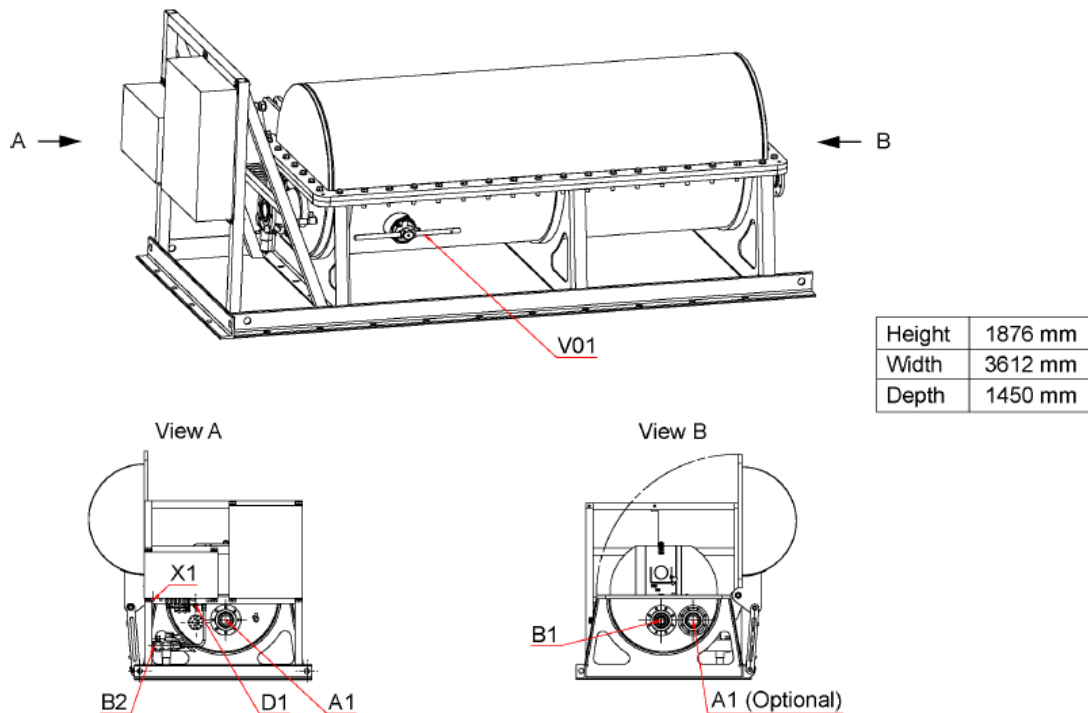


Figura 5. Principales dimensiones de la GVU

La GVU incluye una válvula de control de presión del gas y una serie de bloques y válvulas de purga para asegurar el funcionamiento fiable y seguro con gas. El sistema está diseñado para conseguir enviar en todo momento la presión correcta del gas combustible al motor. Se requiere una GVU para cada motor, que además esté situada tan cerca de ellos como sea posible, para asegurar la respuesta del motor a las condiciones transitorias. La longitud máxima de la tubería de gas combustible entre la GVU y la entrada de gas del motor es de 10 metros. Existe una conexión en el sistema

de gas combustible para inertizar la tubería con nitrógeno. El gas inerte y el aire comprimido deben estar limpios y secos. La presión del gas inerte máxima es 1,5 MPa (15 bar). Los requisitos de calidad del aire comprimido se presentan en el capítulo 8 del Product Guide de los motores, “*Compressed Air System*”.

La decisión tomada de emplear diesel durante la navegación y gas durante las estancias en puerto confiere al buque un aspecto innovador. El diseño del buque proyecto incluye las últimas innovaciones tecnológicas para la propulsión y generación de energía y es respetuoso con el medioambiente, cumpliendo los estrictos requerimientos de la reglamentación medioambiental antes de su entrada en vigor. Además, en el buque no se instalan sistemas que requieren sustancias que reducen la capa de ozono, como son los halones y los clorofluorocarbonos (CFCs).

Por todo ello, el proyecto resultante es, atendiendo a estos criterios y el nivel de resultados esperado, un producto avanzado de alta tecnología y muy competitivo. Este hecho confiere al buque una dificultad y unas características añadidas, diferentes a la de otros buques en el mercado.

### 3.4 Autonomía

Una vez elegido el tipo de combustible que emplearán los grupos electrógenos, se puede realizar una estimación de la autonomía del buque proyecto.

Viendo buques similares al buque proyecto, principalmente los reflejados en la base de datos del cuaderno 2, *Dimensionamiento*, se hizo una primera estimación de la autonomía situando de forma aproximada su valor entre 8500 y 9500 millas náuticas. Con ello el radio de acción del buque proyecto se puede considerar suficiente para las labores a las que estaría destinado.

Al ser la zona de operación del buque la costa Cantábrica, según las especificaciones del proyecto, se realizó el supuesto de que el buque partiera del Puerto de Bilbao. Según los datos que aparecen en la página web de Puertos del Estado y en el catálogo comercial de la Autoridad Portuaria de Bilbao, las distancias en millas entre el Puerto de Bilbao y otros puertos de interés en el mundo y la costa española son las que se presentan en la siguiente tabla.

Puertos	Distancia al Puerto de Bilbao	Puertos	Distancia al Puerto de Bilbao
Algeciras	865 millas	Las Palmas	1243 millas
Ámsterdam	800 millas	Lisboa	586 millas
Bahía de Cádiz	808 millas	Liverpool	716 millas
Barcelona	1378 millas	New York	3175 millas



Buenos Aires	5900 millas	Oslo	1292 millas
Cartagena	1100 millas	Portsmouth	573 millas
Dublín	625 millas	Rotterdam	790 millas
Estambul	2640 millas	Shanghai	10045 millas
Génova	1725 millas	Singapore	7835 millas
Helsinki	1670 millas	Veracruz	4840 millas

Tabla 5. Distancias del puerto de Bilbao a otros puertos internacionales

Con esta información se comprueba que la autonomía aproximada entre 8500 y 9500 millas es un valor aceptable para este tipo de buques. Por ejemplo se podría hacer el trayecto Bilbao-Las Palmas siete veces sin necesidad de cargar combustible.

Para comprobar que esta aproximación es correcta se calculará el peso de combustible a llevar según la fórmula expuesta en los apuntes del profesor Arias de la asignatura Diseño de Cámara de Máquinas. La autonomía del buque está vinculada directamente a la autonomía de combustible y ésta viene dada por el consumo específico de los motores principales. Además, se debe incluir una cierta tolerancia entre el 3% y el 5% que tenga en cuenta la temperatura del aire en cámara de máquinas, la presión y el poder calorífico del combustible que se utiliza. Se deben tener en cuenta también la potencia de servicio de los motores (90% MCR) y la velocidad de servicio del buque (17 nudos). A todo ello se añadirá el margen exigido por la administración para la Condición de Carga “Llegada a puerto del buque” del 10% de los consumos.

$$C = \text{Consumo motor} \cdot BHP(90\%MCR) \cdot 1,03 \cdot 1,03 \cdot \frac{10200}{9800} \cdot 1,1 \cdot \frac{\text{millas}}{V_{\text{servicio}}}$$

$$C = \frac{0,195 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \cdot (3 \cdot 4050 \text{ kW} \cdot 0,90) \cdot 1,03 \cdot 1,03 \cdot \frac{10200}{9800} \cdot 1,1 \cdot 9000 \text{ millas}}{17 \text{ nudos} \cdot 1000}$$

$$= 1371,2 \text{ toneladas}$$

$$\text{Combustible}_{\text{total}} = C \cdot 1,10 = 1371,2 \text{ t} \cdot 1,10 \approx 1500 \text{ toneladas}$$

Este dato es aproximado a las 1800 toneladas de combustible estimado en el cuaderno 2, *Dimensionamiento*.

Por todo ello, se elige fijar finalmente la autonomía aproximada del buque proyecto en 9000 millas náuticas.

$$\boxed{\text{Autonomía} = 9000 \text{ millas}}$$

Otra forma de establecer un valor para la autonomía en esta fase de diseño es fijar un tiempo durante el cual el buque esté navegando a la velocidad de servicio de 17 nudos al 90% de MCR.

Se ha considerado una autonomía de tres semanas para hacer los sucesivos cálculos de los sistemas en cámara de máquinas.

El valor de la autonomía del buque proyecto no es un condicionante en las especificaciones del mismo, con lo cual, podría variar o someterse a estudio en caso de que el armador o la compañía armadora requiriesen una modificación a la alza o a la baja.

## 4. Sistemas en cámara de máquinas

En este apartado se detallará cada uno de los sistemas situados en la cámara de máquinas del buque proyecto, con los cálculos y la descripción de cada uno de ellos.

### 4.1. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Como se ha explicado en el anterior apartado, el tipo de combustible que se suministrará a los motores de los grupos del buque es, en **modo diesel durante la navegación normal, Marine Diesel Fuel (MDF) tipo ISO-F-DMB** (Marine Diesel Oil) de densidad  $900 \text{ kg/m}^3$ ; y en **modo gas, en puerto u otras situaciones especiales, Gas Natural** de  $28 \text{ MJ/m}^3$ .

En la siguiente figura se puede observar un diagrama de flujo del sistema de combustible gas.

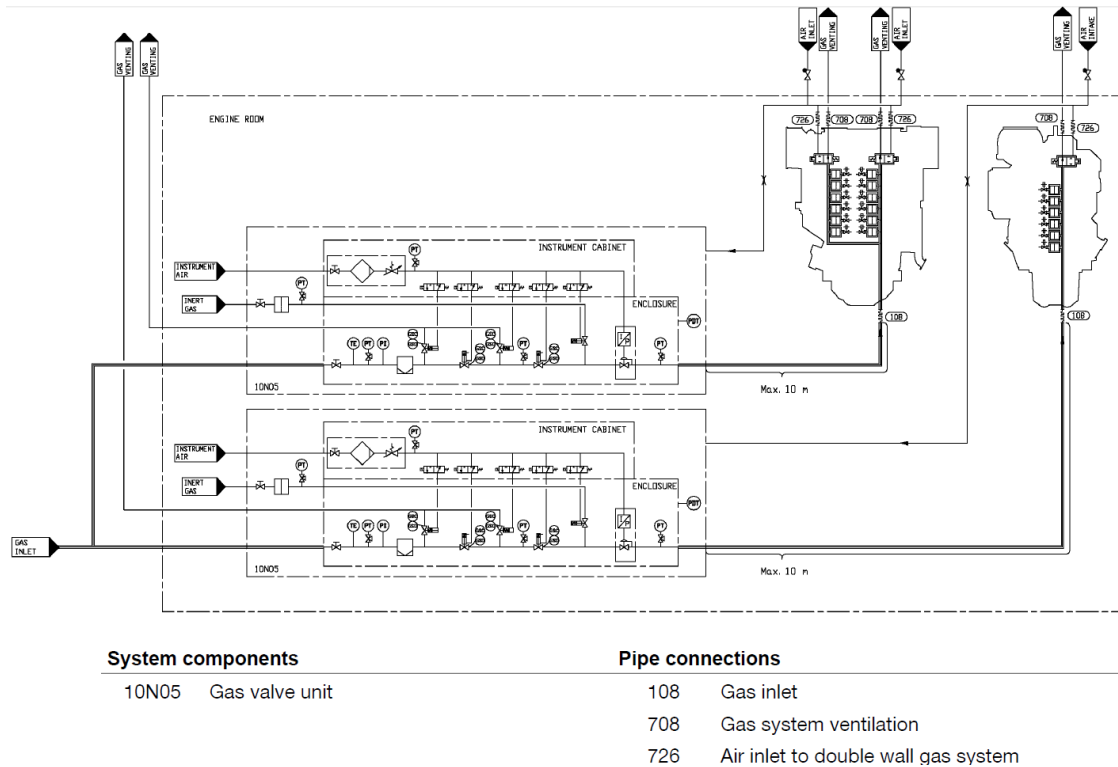


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema de combustible gas

El sistema de alimentación externo de gas combustible debe proporcionar gas natural con la temperatura y la presión correcta para cada motor. Los tanques de almacenamiento de gas natural transportarán CNG (Compressed Natural Gas)), como se indicó anteriormente, y la capacidad necesaria a transportar se calculará en este apartado. Antes de que el gas se suministre al motor, éste pasa a través de una Unidad de Válvula de Gas, Gas Valve Unit (GVU), con el fin de proporcionar a cada motor gas natural con la temperatura y la presión correcta.

El diseño del sistema de combustible diesel puede variar de barco a barco, pero cada sistema debe proporcionar un combustible limpio y a la viscosidad y presión correcta para los motores. Se requiere un control de la temperatura para mantener una viscosidad estable y correcta del fuel antes de las bombas de inyección.

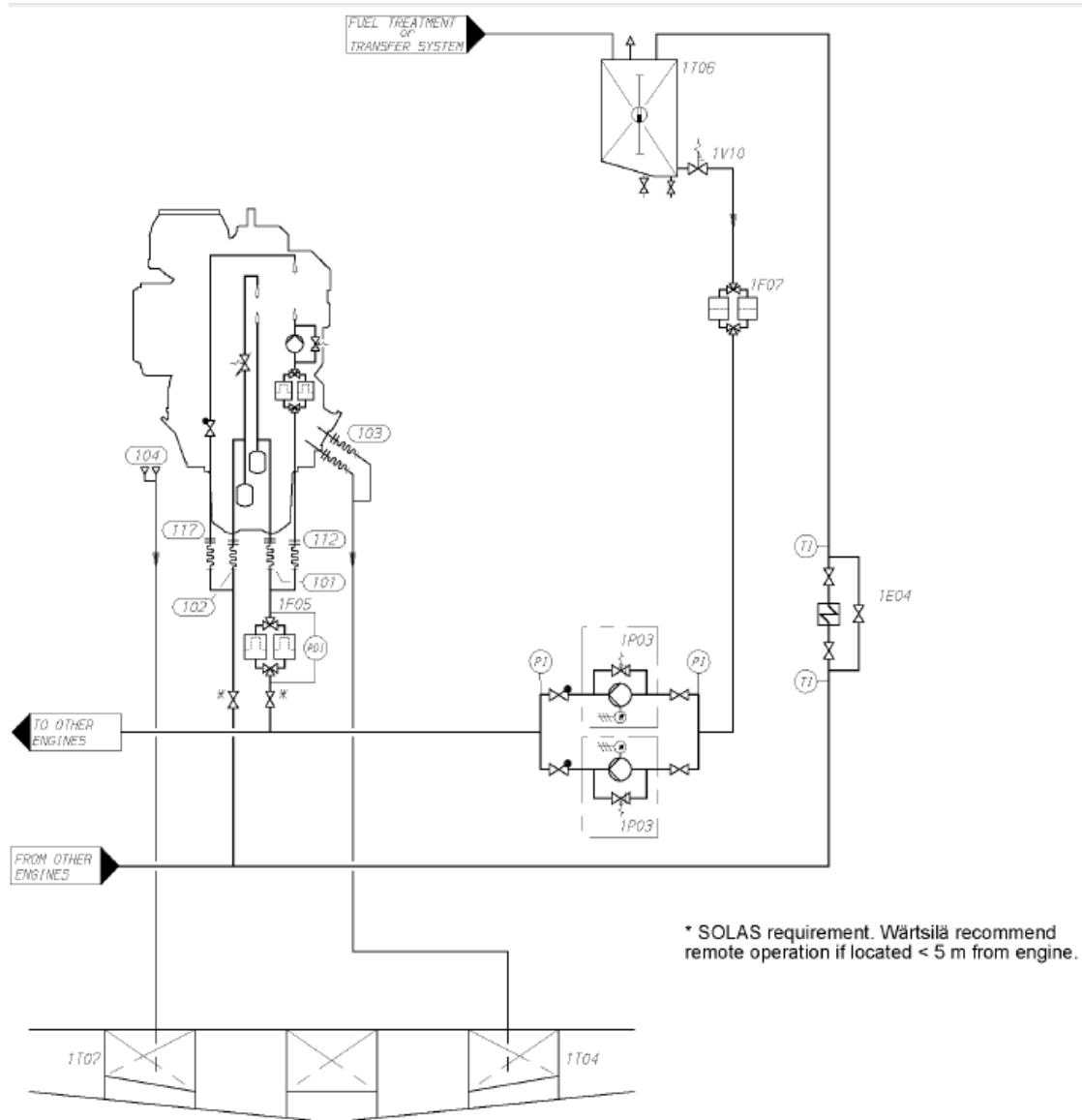
El sistema de tratamiento de combustible diésel debe contener al menos un tanque de sedimentación y dos purificadoras. El fuel oil se transfiere primero de los tanques almacén de combustible a los tanques de sedimentación para la separación inicial de fuel y agua. Después de centrifugarlo, el fuel oil es transferido a los tanques de servicio diario, desde los cuales se suministra combustible a los motores.

Cuando los motores operan sólo con MDF como combustible, normalmente no es necesario calentar este fuel. En este caso es suficiente instalar los equipos mencionados a continuación:

- **Bomba de trasiego (Circulation pump 1P03).** Mantiene la presión en las bombas de inyección y hace circular el combustible en el sistema.
- **Filtro fino (Fine filter 1F05).** Este filtro se debe instalar lo más cerca del motor como sea posible.
- **Enfriador de MDF (MDF cooler 1E04).** Cuando se opera con MDF de forma continua se requiere instalar un enfriador de fuel oil, para que la temperatura de entrada de éste en los motores se mantenga por debajo de 45 °C. La viscosidad del combustible no puede caer por debajo del valor mínimo indicado en los datos técnicos del “Product Guide”, 2,0 cSt.

El dimensionamiento de los tanques de combustible empieza por los tanques de servicio diario y de sedimentación. Los tanques de servicio diario siempre están situados por encima del motor, con el fin de que trabajen por gravedad para que el circuito de alta de combustible siempre esté cebado. Llevan además una tubería de reboses, su ventilación, sonda y tubería de drenaje, disponiendo de alarma por bajo nivel y alarma de llenado. Su disposición en el buque será de forma simétrica respecto al plano de crujía.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama de flujo del sistema de combustible diesel (MDF).



System components		Pipe connections	
1E04	Cooler (MDF)	101	Fuel inlet
1F05	Fine filter (MDF)	102	Fuel outlet
1F07	Suction strainer (MDF)	103	Leak fuel drain, clean fuel
1P03	Circulation pump (MDF)	104	Leak fuel drain, dirty fuel
1T04	Leak fuel tank (clean fuel)	112	Pilot fuel inlet
1T06	Day tank (MDF)	117	Pilot fuel outlet
1T07	Leak fuel tank (dirty fuel)		
1V10	Quick closing valve (fuel oil tank)		

Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de combustible MDF

#### 4.1.1. Cálculo del tanque de servicio diario

Los tanques de servicio diario deben estar dimensionados para cubrir el consumo de los motores principales al menos 24 horas. No obstante, en caso de necesidad por limitación de espacio, el tamaño de estos tanques puede estar dimensionado para un mínimo de 8 horas, coincidiendo con los turnos de guardia del buque.

$$V_{serv} = \frac{P \cdot C \cdot 8}{\rho} (m^3)$$

- $V_{serv}$ : Capacidad total del tanque de servicio diario.
- P: Potencia de los motores diésel a bordo ( $3 \cdot 4050 \text{ kW}$ ).
- C: Consumo medio de los motores ( $0,195 \text{ kg/kWh}$ ).
- $\rho$ : densidad del combustible ( $900 \text{ kg/m}^3$ ).

$$V_{serv} = \frac{12150 \text{ kW} \cdot 0,195 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 8 \text{ h}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 21,10 \text{ m}^3$$

#### 4.1.2. Cálculo del tanque de sedimentación

En la “Product Guide” de los motores Wärtsilä se recomienda la instalación de estos tanques. Su función es permitir la decantación de los residuos sólidos y el agua del combustible. Es importante que tenga una área grande para favorecer la sedimentación y al mismo tiempo no demasiado alta para que la decantación sea rápida. Para asegurar un tiempo suficiente para la sedimentación, la capacidad de combustible de cada tanque debe ser suficiente para un mínimo de 24 horas de operación.

$$V_{sed} = \frac{P \cdot C \cdot 8}{\rho} (m^3)$$

- $V_{sed}$ : Capacidad total del tanque de sedimentación ( $m^3$ ).
- P: Potencia de los motores diésel a los que da servicio ( $3 \cdot 4050 \text{ kW}$ ).
- C: Consumo medio de los motores ( $0,195 \text{ kg/kWh}$ ).
- $\rho$ : densidad del combustible ( $900 \text{ kg/m}^3$ ).

$$V_{sed} = \frac{12150 \text{ kW} \cdot 0,195 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 24 \text{ h}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 63,20 \text{ m}^3$$

Se aproxima la capacidad del tanque de sedimentación a **65m<sup>3</sup>** para proporcionar un cierto margen.

#### 4.1.3. Cálculo de la bomba de trasiego

Capacidad para llenar el tanque de sedimentación en un tiempo determinado.

$$Q_{tras} = \frac{V_{sed}}{t}$$

- t: tiempo de llenado (2 horas).
- $V_{sed}$  capacidad del tanque de sedimentación ( $63,20 \text{ m}^3$ ).

$$Q_{tras} = \frac{63,20 \text{ m}^3}{2h} = 31,60 \frac{\text{m}^3}{h} \approx 32 \frac{\text{m}^3}{h}$$

#### 4.1.4. Cálculo del tanque de reboses

La capacidad del tanque de reboses será suficiente para cubrir cualquier operación incorrecta. Situado en el doble fondo de cámara de máquinas. Se dimensiona para cubrir que sigamos trasegando combustible con el tanque lleno durante 10 minutos.

$$V_{reb} = Q_{tras} \cdot \frac{10 \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}} = 32 \frac{\text{m}^3}{h} \cdot \frac{10}{60} h = 5,3 \text{ m}^3 \approx 6 \text{ m}^3$$

#### 4.1.5. Cálculo de los tanques almacén de combustible

Se calculan en función de la potencia a bordo y de la autonomía del buque. Para la autonomía se consideran tres semanas (21 días) en navegación, es decir, en modo diésel, y 5 días en puerto en modo gas.

##### a) Modo diesel, MDF

El volumen de MDF en modo diésel es el siguiente. El consumo medio de los motores es  $C = 0,195 \text{ kg/kWh}$ , la densidad del combustible  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  y los días de navegación 21.

$$V_{MDF_{MD}} = \frac{P \cdot C \cdot D \cdot 24}{\rho} = \frac{12150 \text{ kW} \cdot 0,195 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot h} \cdot 21 \text{ días} \cdot 24 \frac{h}{\text{día}}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1327 \text{ m}^3$$

##### b) Modo Gas, CNG

La potencia requerida en puerto es menor que en navegación. Por ello, se dimensionan los tanques con una potencia de los motores de 5000 kW. En modo

gas se consume una pequeña cantidad de MDF (pilot fuel), 2,8 g/kWh, por lo que el volumen de este combustible necesario en este modo de operación es:

$$V_{MDF_{MG}} = \frac{5000kW \cdot 2 \cdot 0.0028 \frac{kg}{kW \cdot h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{900 \frac{kg}{m^3}} = 3,73 m^3 \approx 4 m^3$$

El consumo total de gas del buque se obtiene a partir de los consumos de cada motor (8067 kJ/kWh), del poder energético inferior del gas (28 MJ/Nm<sup>3</sup> a 0 grados y 101,3 kPa) y de la potencia de los motores:

$$Q_{gas} = \frac{2 \cdot 8067 \frac{kJ}{kWh} \cdot 5000kW}{28000 \frac{kJ}{m^3}} = 2881,1 \frac{m^3}{h}$$

Es el volumen que se ha de extraer de los tanques de almacenamiento de CNG, teniendo en cuenta una autonomía de 5 días en puerto, y una presión de los tanques de 30 MPa (300 bar) será por tanto:

$$V_{CNG} = \frac{Q_{gas} \cdot 5días}{P_{CNG}} = \frac{2881,1 \frac{m^3}{h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{300bar} = 1152,4 Nm^3$$

Aplicando un margen del 5% a los volúmenes obtenidos, los tanques almacén de combustible tendrán entonces las siguientes capacidades respectivamente:

$$\boxed{\text{Tanques de MDF} = 1400 m^3}$$

En el caso de los tanques de CNG, la capacidad total será de 1248 Nm<sup>3</sup>, ya que se instalarán cuatro tanques de 312 Nm<sup>3</sup> de capacidad cada uno. Por ello:

$$\boxed{\text{Tanques de CNG} = 1248 Nm^3}$$

#### 4.1.6. Cálculo de las purificadoras

El fuel debe ser limpiado en un separador centrífugo antes de que se transfiera al tanque de servicio diario. Las reglas de la Sociedad de Clasificación requieren la disposición de estos equipos de forma redundante, de tal modo que la capacidad de tratamiento requerida se mantenga con cualquiera de las unidades en operación.

La capacidad de los separadores de MDF debe ser suficiente para garantizar el suministro de combustible al consumo máximo de los motores.

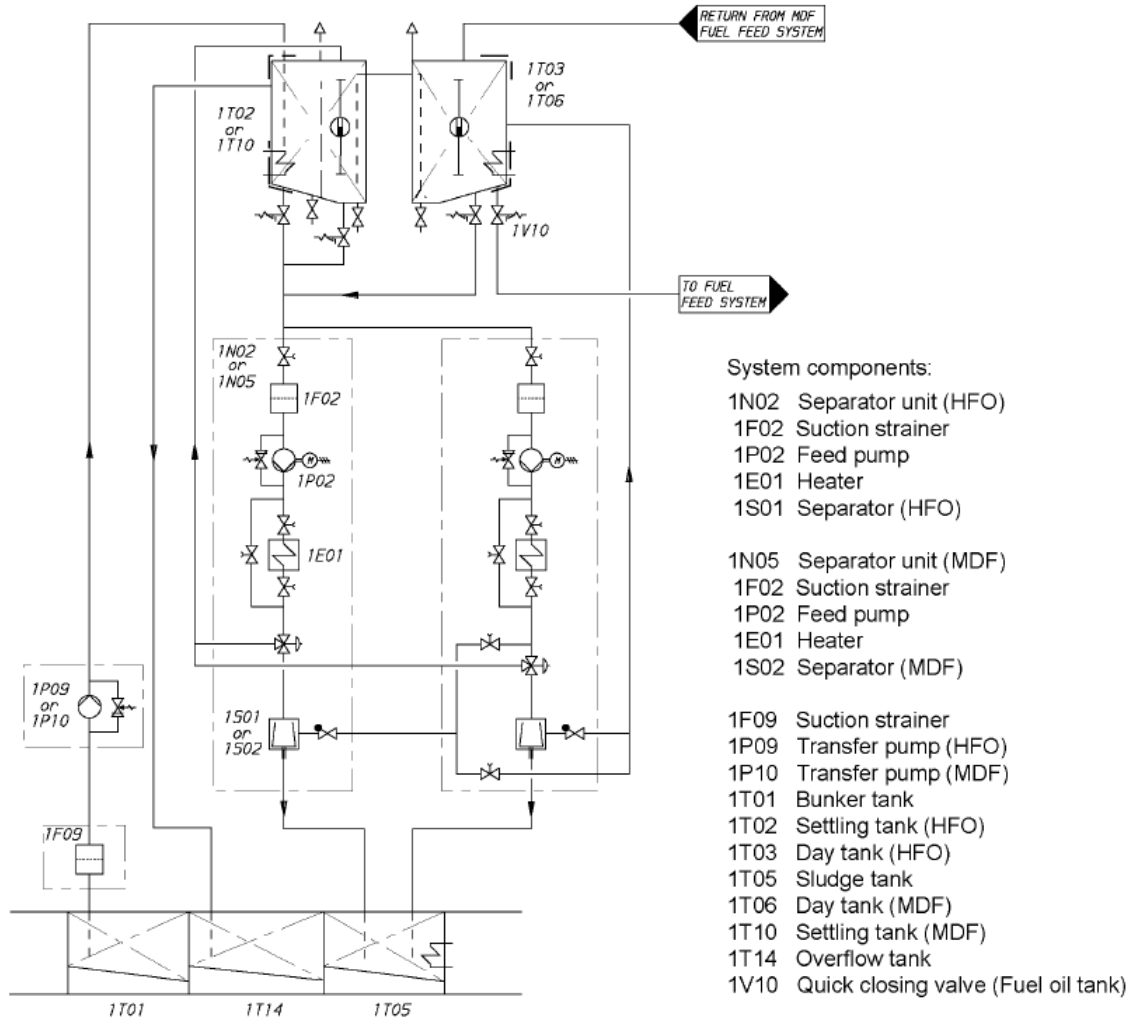


Figura 8. Sistema de trasiego y purificación de MDF

Las bombas de alimentación para MDF (en el esquema, 1P02 Feed pump) deben tener, como se indica en el “Product Guide”, una presión de 0,5 MPa a 50 °C.

El precalentador (1E01) está dimensionado de acuerdo con la capacidad de la bomba de alimentación y de la temperatura del tanque de sedimentación. La temperatura recomendada del combustible después del calentador es normalmente 40 °C para MDF. La potencia mínima requerida por el precalentador es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta T}{1700}$$

- P: potencia del precalentador (kW).
- Q: capacidad de la bomba del separador (l/h).
- ΔT: aumento de temperatura en el precalentador (48 °C).

Basándose en un tiempo de separación de 23 h/día, la capacidad de servicio del separador se puede estimar con la fórmula dada por el fabricante:



$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t}$$

- P: Potencia de los motores diésel a los que da servicio ( $3 \cdot 4050 \text{ kW}$ ).
- b: consumo específico del combustible + 15% de margen de seguridad ( $\text{g/kWh}$ )
- $\rho$ : densidad del combustible ( $900 \text{ kg/m}^3$ ).
- t: tiempo diario de separación (23 h).

$$Q = \frac{12150 \text{ kW} \cdot \left( 0.195 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} + 15\% 0.195 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \right) \cdot 24 \text{ h}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 23 \text{ h}} \approx 3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ésta es la capacidad mínima que deben tener las bombas de los separadores. Por ello, se puede calcular ahora la potencia de los precalentadores:

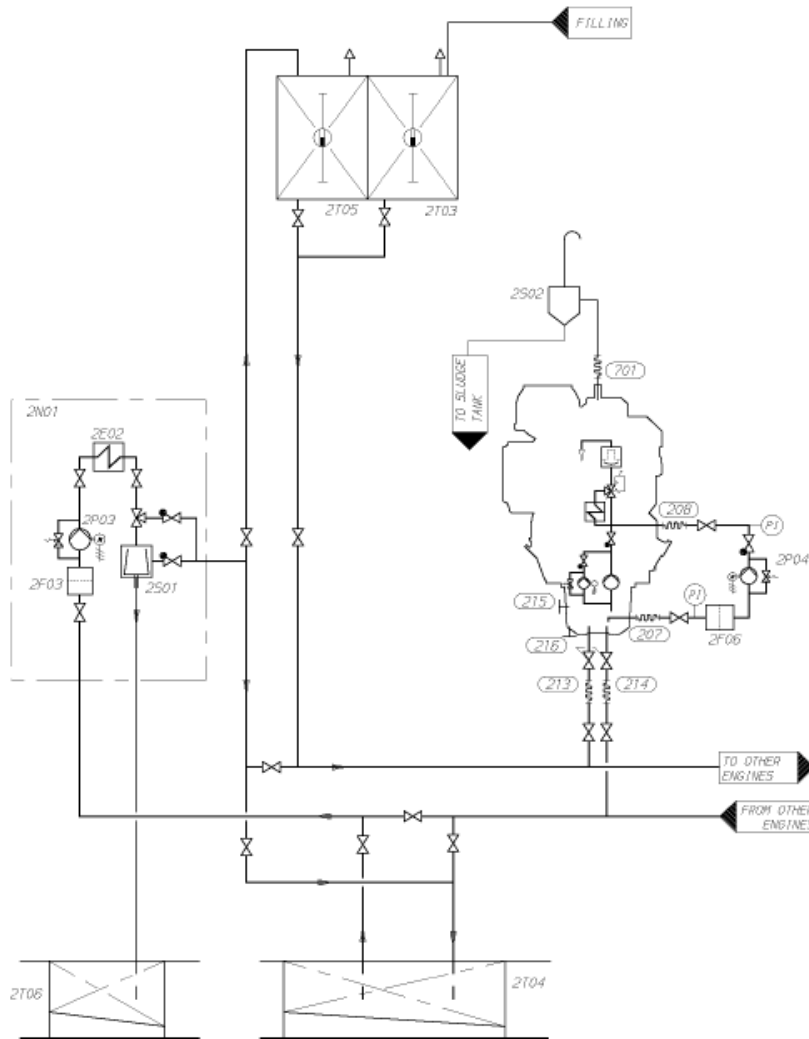
$$P = \frac{3000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 48^\circ \text{C}}{1700} = 85 \text{ kW}$$

## 4.2. SISTEMA DE ACEITE

Existen a bordo distintos tipos de aceite en función de su uso: aceite de lubricación (para las piezas móviles de los equipos), aceite hidráulico (accionamiento de equipos) o aceite de sello (estanqueidad). Cada tipo de aceite dispondrá de tanques, equipos y circuitos separados para que no se produzca contaminación.

Como se indica en el “Product guide” de Wärtsilä, si se emplea MDF tipo ISO-F-DMB como combustible, el aceite lubricante debe ser de la clase **SAE 40** y tener un BN (base number, indica la alcalinidad del lubricante) recomendado de entre 10 y 20. Por tanto, el tipo de aceite que se empleará es **Marino 3 de la casa Repsol**, que tiene una densidad a  $15^\circ \text{C}$  de  $897 \text{ kg/m}^3$ , viscosidad a  $100^\circ \text{C}$ ,  $14,9 \text{ cSt}$  y a  $40^\circ \text{C}$ ,  $148 \text{ cSt}$  y un BN de 12 (ver anexo II).

El cárter de aceite de cada motor es de tipo cárter húmedo y tiene un volumen de  $5 \text{ m}^3$ .



System components		Pipe connections	
2E02	Heater (separator unit)	207	Lubricating oil to el.driven pump
2F03	Suction filter (separator unit)	208	Lubricating oil from el. driven pump
2F06	Suction strainer (stand-by pump)	213	Lubricating oil from separator and filling
2N01	Separator unit	214	Lubricating oil to separator and drain
2P03	Separator pump (separator unit)	215	Lubricating oil filling
2P04	Stand-by pump	216	Lubricating oil drain
2S01	Separator	701	Crankcase air vent
2S02	Condensate trap		
2T03	New oil tank		
2T04	Renovating oil tank		
2T05	Renovated oil tank		
2T06	Sludge tank		

Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de aceite lubricante de cárter húmedo

#### 4.2.1. Cálculo del tanque almacén de aceite de motores

Almacena el aceite lubricante para el cambio de aceite de los equipos por deterioro o contaminación. El tanque de aceite para los motores se calcula para poder realizar un determinado número de cambios de aceite en los motores a bordo:

$$V_{aceite\ motores} = V_{cárter} \cdot N \cdot N_{mot}$$

- $V_{cárter}$ : volumen del cárter de cada motor ( $5\text{ m}^3$ ).
- $N$ : número de cambios de aceite (uno por viaje para todos los motores).
- $N_{mot}$ : número de motores (4).

$$V_{aceite\ motores} = 5\text{m}^3 \cdot 4 \cdot 4 = \mathbf{80\text{m}^3}$$

#### 4.2.2. Cálculo de la bomba de llenado de aceite lubricante

Tendrá capacidad para llenar el cárter del motor en un tiempo determinado.

$$Q_{aca} = \frac{V_{cárter}}{t}$$

- $V_{cárter}$ : capacidad de aceite del motor ( $5\text{ m}^3$ ).
- $t$ : tiempo de llenado (2 horas).

$$Q_{aca} = \frac{5\text{m}^3}{2\text{h}} = 2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

#### 4.2.3. Cálculo del tanque almacén de aceite de cilindros

El tanque almacén de aceite de cilindros se calcula en función de la potencia a bordo, su consumo y la autonomía del buque. En el “Product guide” se indica que el consumo de aceite en cada motor es de  $0,4\text{ g/kWh}$ .

$$V_{aceite} = \frac{P \cdot C \cdot D \cdot 24}{\rho}$$

- $V_{aceite}$ : capacidad total de los tanques almacén de aceite.
- $P$ : potencia de los motores a bordo ( $3 \cdot 4050\text{ kW}$ )
- $C$ : consumo medio de aceite de los motores ( $0,4\text{ g/kWh}$ ).
- $D$ : autonomía de navegación (21 días).
- $\rho$ : densidad del aceite ( $890\text{ kg/m}^3$ ).

$$V_{aceite} = \frac{12150\text{kW} \cdot 0.0004 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 21\text{días} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{día}}}{897 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,75\text{m}^3 \approx \mathbf{3\text{m}^3}$$

#### 4.2.4. Cálculo del tanque de servicio diario de aceite de cilindros

Se calcula como mínimo el aceite necesario para cubrir el consumo durante 8 horas.

$$V_{ac} = \frac{P \cdot C \cdot 8}{\rho}$$

- $V_{ac}$ : capacidad total del tanque de servicio diario de aceite.
- $P$ : potencia de los motores diésel a los que da servicio ( $3 \cdot 4050 \text{ kW}$ ).
- $C$ : consumo medio de aceite de los motores ( $0,4 \text{ g/kWh}$ ).
- $\rho$ : densidad del aceite ( $890 \text{ kg/m}^3$ ).

$$V_{ac} = \frac{12150 \text{ kW} \cdot 0,0004 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 8 \text{ h}}{897 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0433 \text{ m}^3 \approx \mathbf{0,05 \text{ m}^3}$$

#### 4.2.5. Cálculo de la bomba de aceite de cilindros

Capacidad para llenar el tanque de servicio diario en un tiempo determinado.

$$Q_{ac} = \frac{V_{ac}}{t} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

- $V_{ac}$ : capacidad del tanque de servicio diario de aceite ( $21,30 \text{ m}^3$ ).
- $t$ : tiempo de llenado (2 horas).

$$Q_{ac} = \frac{0,05 \text{ m}^3}{2 \text{ h}} = \mathbf{0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

### 4.3. SISTEMA DE SENTINAS

Sistema capaz de achicar todos los espacios cerrados del buque que no dispongan de medio de achique propio.

Condiciones de operación:

- Achique de emergencia. En caso de inundación se descarga directamente al mar.
- Achique de aguas sucias. Fugas de líquido por operaciones a bordo. Debe tratarse antes de descargar a la mar para controlar los vertidos de hidrocarburos.

#### 4.3.1. Diámetro del colector de sentinas

El diámetro del colector de sentinas, que depende de las dimensiones principales del buque, se calculará como:

$$D_{sent} = 1,68 \cdot \sqrt{L \cdot (B + D)} + 25 \text{ (mm)}$$

- L: eslora del buque (21,50 m).
- B: manga del buque (21,70 m).
- D: puntal del buque (9,40 m).

$$D_{sent} = 1,68 \cdot \sqrt{81,50m \cdot (21,70m + 9,40m)} + 25 \text{ mm} = 109,6mm \approx \mathbf{110mm}$$

#### 4.3.2. Bombas de sentinas

Deben tener suficiente capacidad para achicar los espacios cerrados del buque en caso de inundación. Es función del diámetro del colector de sentinas.

- Número de bombas de sentinas: 2.
- Capacidad de la bomba de sentinas. Se mide como el caudal que puede pasar por el colector de sentinas a una velocidad de 2 m/s.

$$Q_{sent} = \frac{5,75 \cdot D_{sent}^2}{1000} = \frac{5,75 \cdot (110mm)^2}{1000} = 69,58 \frac{m^3}{h} \approx 70 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, se instalarán **2 bombas 35 m³/h** de capacidad mínima cada una.

#### 4.3.3. Separador de sentinas

Al ser el arqueo del buque mayor de 1000 toneladas, se debe instalar en el buque proyecto un separador de sentinas y una alarma automática de contenido de hidrocarburos.

El separador de sentinas es un equipo empleado para tratar el agua sucia y separar el hidrocarburo, descargando el lodo al tanque de lodos y el agua tratada al mar. Dispondrá de:

- Medio de bombeo, que tomará del colector de sentinas o del tanque de sentinas.
- Medidor de contenido de hidrocarburos, que marcará el contenido de hidrocarburos en el agua tratada.
- Válvula de descarga de agua tratada, que controla la descarga al tanque o al mar.
- Descarga al tanque de lodos.

#### 4.3.4. Bomba auxiliar de sentinas

Para no utilizar las bombas principales de sentinas para trasiego del agua sucia, se dispone una bomba rotativa para succionar el colector de sentinas y descargar al tanque de sentinas.

La capacidad de las bombas se toma como un 5% de la capacidad de las bombas principales de sentinas.

$$Q_{aux} = 5\% \cdot Q_{sent} = 0,05 \cdot 35 \frac{m^3}{h} = 1,75 \frac{m^3}{h} \approx 2 \frac{m^3}{h}$$

#### 4.3.5. Tanque de sentinas

El tanque de sentinas se sitúa en el doble fondo de cámara de máquinas y almacena el agua sucia de sentinas hasta llegar a tierra si no existe separador o se utiliza como almacén hasta que se acumule suficiente agua sucia para arrancar el separador.

La capacidad de este tanque se calcula en función de la potencia de los motores principales instalados a bordo.

$$V_{sent} = 1,5 + \frac{P - 1000}{1500} = 1,5 + \frac{12150kW - 1000}{1500} = 8,93m^3 \approx 9m^3$$

### 4.4. SISTEMA DE LODOS

Sistema capaz de descargar a tierra el contenido de todos los tanques sucios a bordo: tanque de sentinas (agua sucia de los pocetes), tanque de lodos (separador de sentinas y purificadoras), tanque de aceite sucio (aceite de motores), tanque de aguas aceitosas (bandejas de reboses).

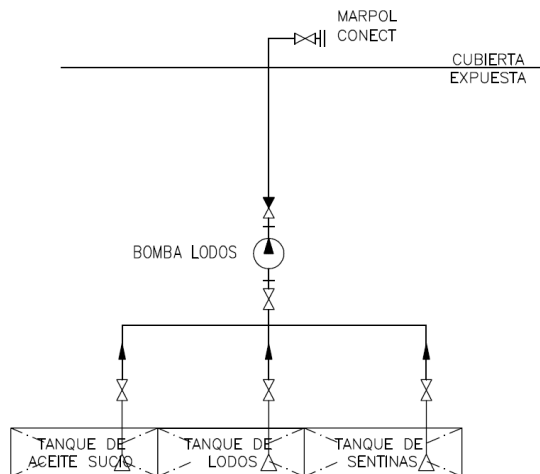


Figura 10. Esquema del sistema de lodos

Todos los tanques sucios estarán situados en el doble fondo de cámara de máquinas.

#### 4.4.1. Tanque de lodos

Almacena los residuos de las purificadoras de combustible y del separador de sentinas. Su capacidad se calculará de acuerdo a Marpol en función del consumo de los motores a bordo y si es necesario purificar o no el combustible que se queme.

$$V_{lodos} = K \cdot C \cdot D$$

- K: 0,01 para buque que purifica el combustible.
- C: consumo de combustible (t/día).
- D: días de navegación (21 días).

$$V_{lodos} = 0,01 \cdot \frac{0,195 \frac{kg}{kWh} \cdot 24 \frac{h}{día} \cdot 12150kW}{1000 \frac{kg}{tonelada}} \cdot 21días = 11,94t \approx \mathbf{12m^3}$$

#### 4.4.2. Tanque de aguas aceitosas

La capacidad del tanque de aceite sucio se calculará en función de la potencia de los motores principales instalados a bordo y el tiempo sin estar en puerto.

$$V = D \cdot \left( 0,2 + 7 \cdot \frac{P - 1000}{10^6} \right)$$

- D: autonomía de navegación (21 días).
- P: potencia de los motores principales ( $3 \cdot 4050 kW$ ).

$$V = 21días \cdot \left( 0,2 + 7 \cdot \frac{12150kW - 1000}{10^6} \right) = 5,84m^3 \approx \mathbf{6,00m^3}$$

#### 4.4.3. Tanque de aceite sucio

Permite el almacenamiento del aceite contaminado de los motores hasta llegar a puerto para descargarlo. Su capacidad se calculará en función de la capacidad de aceite de los cárteres de los motores y los cambios de aceite para el que está diseñado.

En general se dimensiona para un solo cambio de aceite, por lo tanto será equivalente al volumen de aceite de los motores.

$$V_{aceite sucio} = V_{mot}$$

- $V_{mot}$ : volumen de aceite de los cárteres de los motores principales ( $5m^3$ ).

$$V_{aceite\ sucio} = 4 \cdot V_{mot} = 4 \cdot 5m^3 = 20m^3$$

#### 4.4.4. Bomba de lodos

La bomba de lodos debe tener suficiente capacidad para achicar los tanques sucios en 4 horas y nunca menor de 2 m<sup>3</sup>/h.

$$Q_{lod} = \frac{V_{lodos}}{t} \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

- V<sub>lodos</sub>: volumen de los tanques sucios (tanque de sentinas, tanque de lodos, tanque de aceite sucio, tanque de aguas aceitosas).
- t: tiempo de vaciado (4 horas).

$$Q_{lod} = \frac{9m^3 + 12m^3 + 20m^3 + 6m^3}{4h} = 11,75 \frac{m^3}{h}$$

#### 4.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Es el sistema capaz de evacuar el calor disipado por los equipos a bordo. Utiliza como agente refrigerante agua salada y agua dulce.

Se recomienda que el agua que circule a través de los motores sea agua dulce producida por un evaporador a bordo y que esté tratada con inhibidores de corrosión.

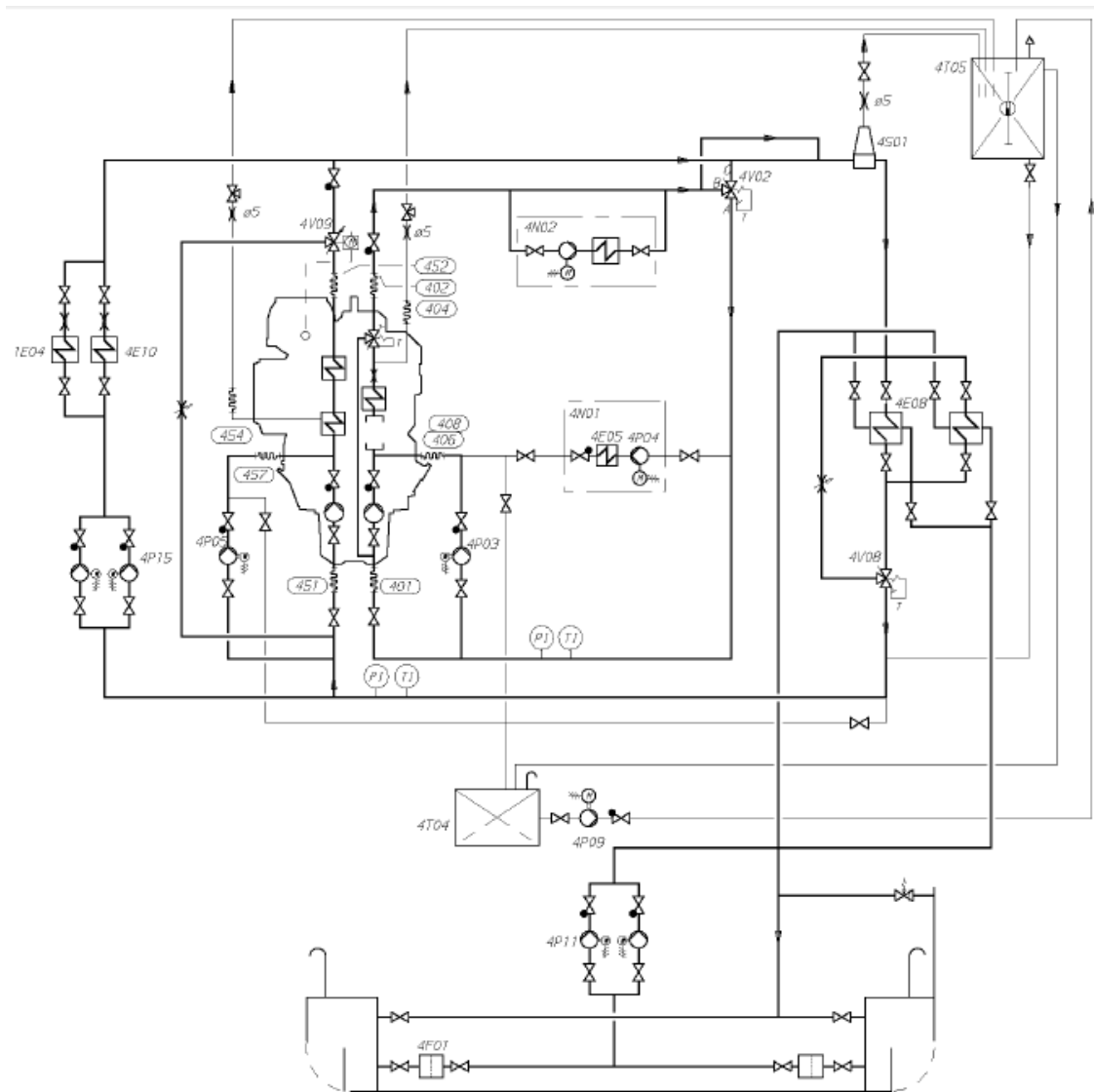
El sistema de refrigeración de agua dulce se divide en un circuito de alta temperatura (HT, high temperature) y en un circuito de baja temperatura (LT, low temperature). El agua del circuito de alta temperatura circula a través de las camisas de los cilindros y las culatas, mientras que el agua del circuito de baja temperatura circula a través del enfriador del aire de carga y del enfriador de aceite lubricante.

Las bombas de alimentación de agua dulce de refrigeración de los circuitos de HT y de LT son accionadas por motor y se sitúan acopladas a los motores. Su capacidad viene definida en el “Product Guide” de los motores, siendo igual para cada uno de ellos: 90 m<sup>3</sup>/h y 275 kPa.

En instalaciones con varios motores, como es el caso del buque proyecto, se recomienda dividir el sistema de refrigeración en varios circuitos independientes para cada motor. Una de las razones es, por supuesto la redundancia, pero también es debido a que es más fácil ajustar los flujos individuales en un sistema más pequeño. Además, puede limitarse un mal funcionamiento del sistema debido a la entrada de gases en el circuito o a la pérdida de agua de refrigeración en caso de grandes fugas. En algunas instalaciones puede ser aconsejable separar el circuito de HT del circuito de LT mediante un intercambiador de calor.



En la siguiente imagen se muestra un diagrama de flujo del sistema de refrigeración.



**System components:**

1E04	Cooler (MDF)	4P09	Transfer pump
4E05	Heater (preheater)	4P11	Circulating pump (sea water)
4E08	Central cooler	4P15	Circulating pump (LT)
4E10	Cooler (reduction gear)	4S01	Air venting
4F01	Suction strainer (sea water)	4T04	Drain tank
4N01	Preheating unit	4T05	Expansion tank
4N02	Evaporator unit	4V02	Temperature control valve (heat recovery)
4P03	Stand-by pump (HT)	4V08	Temperature control valve (central cooler)
4P04	Circulating pump (preheater)	4V09	Temperature control valve (charge air)
4P05	Stand-by pump (LT)		

**Pipe connections:**

401	HT-water inlet	451	LT-water inlet
402	HT-water outlet	452	LT-water outlet
404	HT-water air vent	454	LT-water air vent from air cooler
406	Water from preheater to HT-circuit	457	LT-water from stand-by pump
408	HT-water from stand-by pump		

Figura 11. Diagrama de flujo del sistema de refrigeración de los motores

A continuación se van a detallar algunos de los equipos que constituyen el sistema de refrigeración de agua que se muestran en el diagrama.

#### 4.5.1. Bombas stand-by de circulación (4P03, 4P05)

Deben ser de tipo centrífugo y de accionamiento eléctrico. La capacidad y la presión requerida se muestra en los datos técnicos del “Product Guide”: una presión de 250 kPa y 80 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.5.2. Bomba de agua salada (4P11)

El agua salada se utiliza como refrigerante secundaria, que disipa el calor del agua dulce. Las bombas de agua salada están siempre separadas del motor y son de accionamiento eléctrico. La capacidad de las bombas se determina por el tipo de intercambiadores de calor y la cantidad de calor a disipar.

El circuito de agua salada debe disponer de succiones del colector de tomas de mar (con filtro de aspiración, 4F01), bombas de agua salada, intercambiador de calor (4E08, donde el agua salada absorbe el calor del agua dulce) y descarga al mar.

El caudal de agua salada debe ser suficiente para refrigerar el agua dulce que se utiliza como agente de refrigeración principal de los tres grupos en operación. Por tanto:

$$3 \cdot Q_{ad} \cdot (T_{ent} - T_{sal}) \cdot C_{ead} \cdot \rho_{ad} = Q_{as} \cdot (\Delta T) \cdot C_{eas} \cdot \rho_{as}$$

- $Q_{ad}$  caudal de agua dulce (90 m<sup>3</sup>/h).
- $T_{ent}$ : temperatura del agua dulce a la entrada del intercambiador (96°C).
- $T_{sal}$ : temperatura del agua dulce a la salida del intercambiador (38°C).
- $\rho_{ad}$ : densidad del agua dulce (1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $C_{ead}$ : calor específico del agua dulce (1 kcal/kg°C).
- $Q_{as}$  caudal de agua salada (m<sup>3</sup>/h).
- $\Delta T$ : diferencia entre la temperatura de salida y entrada del agua salada en el intercambiador. En general se toma un salto térmico de entre 10 y 15 °C. Los intercambiadores no resultan eficaces para saltos mayores.
- $C_{eas}$ : calor específico del agua salada (0,96 kcal/kg°C).
- $\rho_{ad}$ : densidad del agua dulce (1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $\rho_{as}$ : densidad del agua salada (1025 kg/m<sup>3</sup>).

La temperatura del agua salada se tomará como 32 °C para todos los mares y las bombas se dimensionan con un margen de seguridad del 15%. Con lo cual, despejando en la anterior fórmula, se obtiene el caudal mínimo de agua salada:

$$Q_{as} = \frac{3 \cdot Q_{ad} \cdot (T_{ent} - T_{sal}) C_{ead} \cdot \rho_{ad}}{(\Delta T) \cdot C_{eas} \cdot \rho_{as}}$$

$$Q_{as} = \frac{3 \cdot 90 \frac{m^3}{h} \cdot (96^\circ C - 38^\circ C) \cdot 1 \frac{kcal}{kg^\circ C} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{10^\circ C \cdot 0,96 \frac{kcal}{kg^\circ C} \cdot 1025 \frac{kg}{m^3}} \cdot 1,15 = 1830 \frac{m^3}{h}$$

Se instalarán entonces **3 bombas de agua salada de 920 m³/h** de capacidad cada una, siendo una de ellas de reserva de las otras dos.

#### 4.5.3 Intercambiador de calor (4E08)

Se trata de un intercambiador capaz de disipar el calor residual de los consumidores del circuito de refrigeración de agua dulce, antes de que ésta vuelva a circularse a los equipos. Habrá uno por cada grupo diesel y cuyas dimensiones principales se especifican en el “Product Guide” de Wärtsilä.

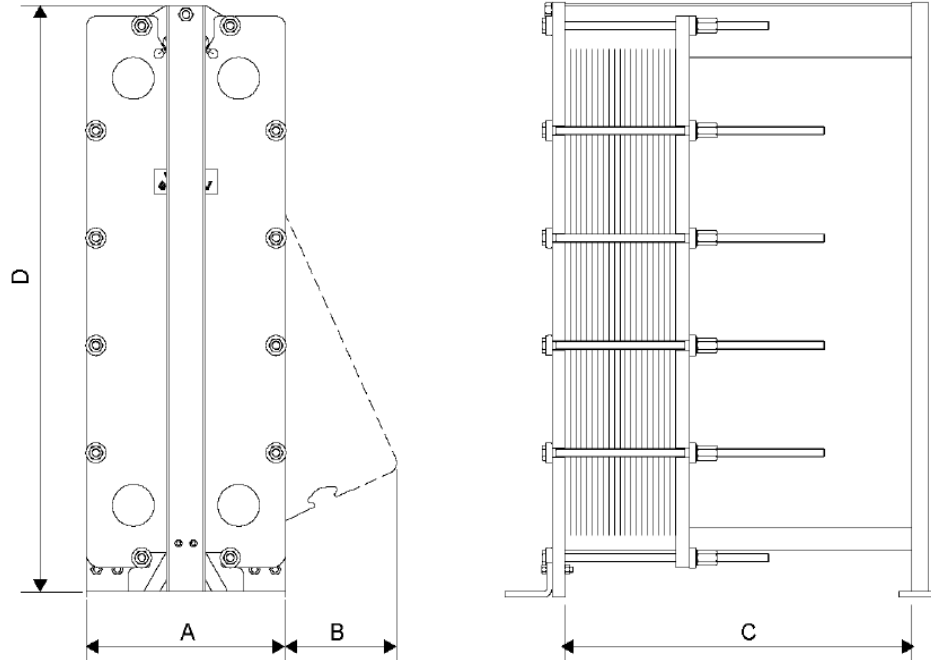


Figura 12. Dimensiones principales del intercambiador de placas

Number of cylinders	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)	Weight (kg)
9	720	425	700	2150	1230

Tabla 6. Dimensiones principales del intercambiador de placas

#### 4.5.4. Tanque de expansión (4T05)

El tanque de expansión compensa la expansión térmica del refrigerante, sirve para la aireación de los circuitos de refrigeración y proporciona una presión estática suficiente para las bombas de circulación. Debe estar equipado con una trampilla de inspección, un indicador de nivel, una alarma de nivel bajo y medios necesarios para la dosificación de aditivos en el agua de refrigeración.

#### 4.5.5. Precalentador (4N01)

La función de esta unidad es hacer circular agua caliente por los cilindros antes de arrancar los motores. Está conectado al circuito de alta temperatura. El agua de refrigeración que circula a través de los cilindros tiene que ser precalentada a una temperatura de al menos 60 °C, preferiblemente 70 °C. Dispondrá de un calentador (4E05) y de una bomba de circulación (4P04).

- **Calentador (4E05).** La fuente de energía del calentador puede ser energía eléctrica, vapor o aceite térmico. Es recomendable calentar el agua el circuito de alta temperatura (HT) a una temperatura cercana a la de funcionamiento normal. La potencia de calentamiento requerida mínima es de 5 kW/cilindro, lo cual hace posible calentar el motor de 20 °C a 60-70 °C en 10-15 horas. Por lo tanto, cada motor llevará adjunto un calentador de 45 kW.
- **Bomba de circulación para el precalentador (4P04).** Como se indica en el “Product Guide”, debe tener una capacidad de 0,4 m<sup>3</sup>/h por cilindro y entregar una presión de 80 kPa (0,8 bar).

Cada unidad completa de precalentador incluye: calentador eléctrico o de vapor, bomba de circulación, cuadro de control para el calentador y la bomba, set de termómetros, válvula de retención y válvula de seguridad.

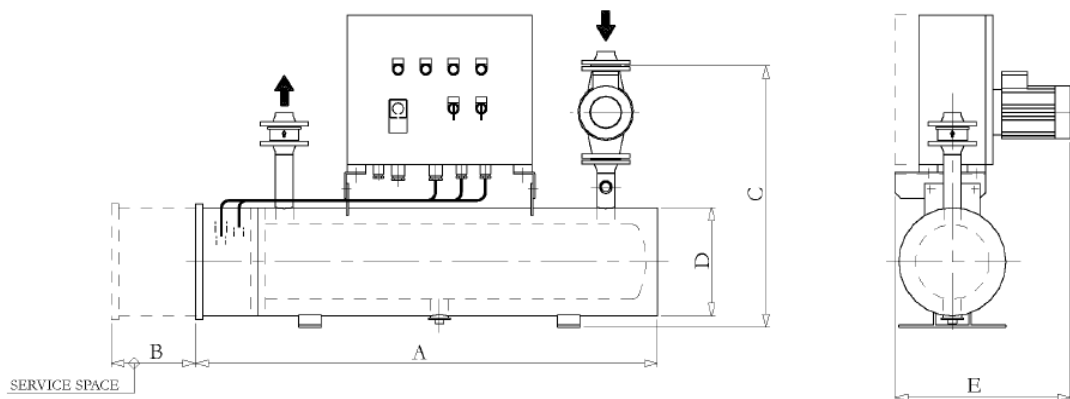


Figura 13. Precalentador

Heater capacity (kW)	Pump capacity (m <sup>3</sup> /h)	Weight (kg)	Pipe con. In/outlet	Dimensions (mm)				
				A	B	C	D	E
45	12	145	DN40	1250	720	755	350	510

Tabla 7. Dimensiones principales de los precalentadores

#### 4.6. SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS

Es el sistema capaz de tomar agua salada del mar y distribuirla de forma controlada a cualquier punto del buque para la lucha contra incendios.

El circuito dispondrá de: succión del colector de tomas de mar, equipo de bombeo (bombas centrífugas autocebadas), colector de contra incendios, bocas contra incendios con mangueras contra incendios, conexión internacional a tierra y sistema de presurización.

- **Colector de contra incendios.** Tubería que cubre todo el buque, donde descargan directamente todas las bombas de contra incendios y de donde salen todos los ramales para cubrir cada una de las zonas del buque.
- **Bocas contra incendios.** Número suficiente para cubrir con dos chorros de agua simultáneamente cualquier punto del buque.
- **Sistema de presurización.** El sistema siempre lleno de agua y bajo presión, de modo que la respuesta sea inmediata.
  - Arranque de las bombas de contra incendios cuando baja la presión con todo el circuito cerrado.
  - Equipo de presurización formado por un tanque y bomba de presurización.

##### 4.6.1. Bombas contra incendios

Las bombas de contra incendios arrancan cuando la presión baja en el colector de contra incendios.

*-Número de bombas contra incendios:*

Se deben instalar **2 bombas de contra incendios**, las cuales pueden ser de uso múltiple siempre que no conduzcan líquidos inflamables.

La disposición de las bombas contra incendios es en espacios independientes.

*-Capacidad de contra incendios:*

Capacidad suficiente para cubrir cualquier circuito de contra incendios a bordo que se pueda alimentar desde el colector de contra incendios. Como mínimo dispondrá de una capacidad de:

$$QCI = \frac{4}{3} \cdot Q_{sent}$$

y no superior a 180 m<sup>3</sup>/h. Por tanto:

$$Q_{CI} = \frac{4}{3} \cdot 70 \frac{m^3}{h} = 93,33 \frac{m^3}{h} \approx 95 \frac{m^3}{h}$$

*-Capacidad de las bombas contra incendios*

La suma de las capacidades de todas las bombas de contra incendios deberá ser superior al caudal requerido. Cada bomba tendrá una capacidad de:

$$Q_{bombaCI} = \frac{Q_{CI}}{N_{bombas}} = \frac{95 \frac{m^3}{h}}{2} = 47,5 \frac{m^3}{h} \approx 50 \frac{m^3}{h}$$

Cada bomba cumple con:

- Caudal mayor de 25 m<sup>3</sup>/h.
- Podrá suministrar agua a dos bocas contra incendios simultáneamente.
- Capacidad será mayor de:

$$Q_{bombCI} > 80\% \cdot \frac{Q_{CI}}{N_{bombas}}$$

*-Presión de las bombas contra incendios:*

La presión de las bombas contra incendios deberá ser de **0,25 N/mm<sup>2</sup>**.

*-Bomba de emergencia:*

La bomba de emergencia de contra incendios, indicada cuando las bombas de contra incendios principales estén situadas en el mismo espacio de modo que, en caso de incendios en dicho local, el sistema se quede sin suministro de agua salada, deberán cumplir con las siguientes características:

- Bomba no puede depender de la fuente de alimentación principal del buque para ello:
  - Alimentada por el generador de emergencia.
  - Accionada por su propio motor diésel. Dispondrá de un tanque de combustible para un funcionamiento continuo durante 15 horas, situado en el propio local.
- Dispuesta en local independiente, no adyacente con el local donde se dispongan las bombas principales o espacios de categoría A.

Sin acceso directo entre la cámara de máquinas y el local de la bomba de emergencia.

- La tubería de aspiración y descarga de la bomba cumplirá con:
  - Toma de mar independiente de las bombas principales y fuera del espacio.
  - La tubería de aspiración y descarga estará fuera del local de las bombas principales contra incendios.

La capacidad de la bomba contra incendios de emergencia será como mínimo el 40% del caudal de contra incendios y nunca menor de 25 m<sup>3</sup>/h.

$$Q_{CI\text{emergencia}} = 40\%Q_{bombaCI} = 40\% \cdot 50 \frac{m^3}{h} = 20 \frac{m^3}{h}$$

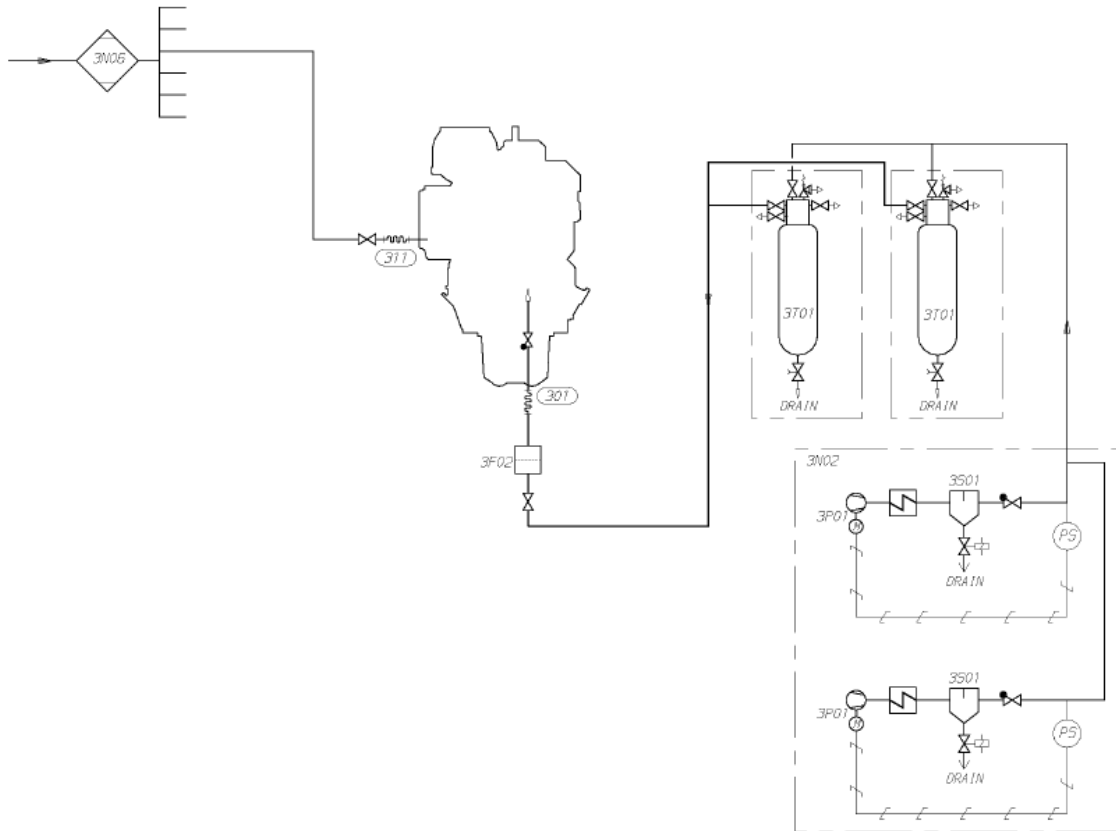
Por ello, el valor de la capacidad de la bomba contra incendios de emergencia será **25 m<sup>3</sup>/h**.

#### **4.7. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

A bordo se dispondrán tres tipos de aire comprimido: aire comprimido de arranque (para el arranque de los diésel generadores), aire comprimido de servicios generales (para operaciones de limpiezas, accionamiento de máquinas y motores) y aire comprimido de instrumentación (para el accionamiento de válvulas y control de equipos).

##### **4.7.1. Sistema de aire de arranque**

El sistema de aire de arranque dispondrá de compresores y botellas de aire con una capacidad suficiente para cubrir el servicio completo. El aire estará a una presión de 3 MPa y el sistema es común a todos los motores instalados a bordo.



System components		Pipe connections	
3F02	Air filter (starting air inlet)	301	Starting air inlet, 3 MPa
3N02	Starting air compressor unit	311	Control air to bypass/wastegate valve
3N06	Air dryer unit		
3P01	Compressor (Starting air compressor unit)		
3S01	Separator (Starting air compressor unit)		
3T01	Starting air vessel		

Figura 14. Esquema del sistema de aire de arranque

#### 4.7.1.1. Cálculo del volumen de aire de arranque

En el “Product Guide” se exponen las indicaciones para las botellas de aire de arranque. Éstas deben estar dimensionadas para una presión nominal de 3 MPa y estar equipadas con al menos una válvula manual para el drenaje del condensado. Si las botellas de aire están montadas horizontalmente, debe haber una inclinación de entre 3° y 5° hacia la válvula de drenaje para asegurar un drenaje eficiente.

El número y la capacidad de las botellas de aire para motores de propulsión dependen de los requisitos de la Sociedades de Clasificación y del tipo de instalación. Para propulsión diésel-eléctrica, como es el caso del buque proyecto, se requieren 3 arrancadas por motor, con una capacidad mínima de 12 arrancadas del motor de mayor consumo.



Se recomienda utilizar una presión mínima de 1,8 MPa cuando se calcule el volumen de las botellas.

El consumo de aire por arrancada se indica en los datos técnicos del “Product Guide” y es 6,2 Nm<sup>3</sup>. Un arranque a control remoto de los motores no puede consumir dos veces este volumen de aire. El volumen total de los recipientes de aire de arranque requerido se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$V_R = \frac{p_E \cdot V_E \cdot n}{P_{Rmax} - P_{Rmin}} \cdot N_{mot}$$

- V<sub>R</sub>: volumen total de las botellas da aire de arranque (m<sup>3</sup>).
- P<sub>E</sub>: presión barométrica normal (0,1 MPa).
- V<sub>E</sub>: consumo de aire por arrancada (6,2 Nm<sup>3</sup>).
- n: numero de arrancadas requeridas de acuerdo con la Sociedad de Clasificación Lloyd’s Register (3).
- P<sub>Rmax</sub>: máxima presión del aire de arranque (3 MPa).
- P<sub>Rmin</sub>: mínima presión del aire de arranque (1,8 MPa).
- N<sub>mot</sub>: número de motores (4).

$$V_R = \frac{0,1MPa \cdot 6,2Nm^3 \cdot 3}{3MPa - 1,8MPa} \cdot 4 = 6,2Nm^3$$

#### 4.7.1.2. Botella de aire de arranque

Cilindro metálico diseñado para almacenar el aire comprimido y soportar la presión. Dispondrá de al menos:

- Válvula de seguridad tarada por encima de la presión de diseño para evitar sobrepresiones y liberar el aire comprimido al exterior.
- Manómetro: indica la presión interior.
- Purga: en la parte baja de la botella para vaciar el condensado.

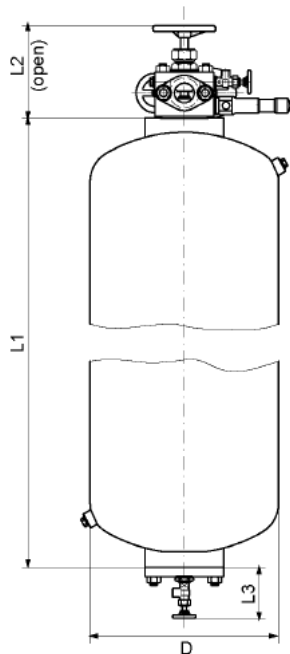
Almacena el volumen de aire de arranque entre 30 y 18 bar.

$$V_{bot} = \frac{V}{(P_{máx} - P_{mín})} (m^3)$$

- V<sub>bot</sub>: volumen de la botella (m<sup>3</sup>).
- V: volumen de aire de arranque (6,2 Nm<sup>3</sup>).
- P<sub>máx</sub>: presión máxima (30 bar).
- P<sub>mín</sub>: presión mínima (18 bar).

$$V_{bot} = \frac{6,2Nm^3}{(30bar - 18bar)} = 0,50m^3$$

Tal como se indica en el “Product Guide”, el volumen total de las botellas de aire de arranque se debe dividir en al menos dos botellas de aire de arranque de igual tamaño. En la siguiente imagen se ven las dimensiones que suministra la guía de Wärsilä para las botellas de aire de arranque (starting air vessel).



Size [Litres]	Dimensions [mm]				Weight [kg]
	L1	L2 <sup>1)</sup>	L3 <sup>1)</sup>	D	
250	1767	243	110	480	274
500	3204	243	133	480	450
710	2740	255	133	650	625
1000	3560	255	133	650	810

<sup>1)</sup> Dimensions are approximate.

Figura 15. Dimensiones de las botellas de aire de arranque

Por lo tanto se instalarán **dos botellas de aire de arranque de 250 litros** de capacidad cada una.

#### 4.7.1.3. Compresor de aire de arranque

Comprime el aire que toma de la atmósfera hasta la presión requerida. Pueden ser refrigerados por aire o por agua. Hay distintos tipos:

- Mecanismo de compresión, lo más habitual de embolo.
- De una o de dos etapas – una sola compresión o doble compresión.
- Simple o doble efecto – el embolo trabaja en una o en sus dos caras.
- Configuración en V o T.

El compresor de aire de arranque debe ser capaz de rellenar la botella de aire de arranque en 30 minutos.

$$Q_{comp} = \frac{V_{bot}}{t} \left( \frac{Nm^3}{h} \right)$$

- $V_{bot}$ : volumen de la botella ( $Nm^3$ ).

$$V_{bot}(Nm^3) = V_{bot}(m^3) \cdot P_{bot}$$

Se toma como presión de la botella la máxima, 3 MPa (30 bar).

$$V_{bot}(Nm^3) = 0,25m^3 \cdot 30bar = 7,5Nm^3$$

- t: tiempo de llenado (0,5 horas).

$$Q_{comp} = \frac{7,5Nm^3}{0,5h} = 15 \frac{Nm^3}{h}$$

Al menos deben instalarse dos compresores de aire, por lo que habrá uno a cada banda del buque dentro de la cámara de máquinas.

#### 4.7.2. Sistema de aire de servicios generales

En función de las necesidades a bordo, este sistema puede disponer de su propio compresor y botella. Se alimenta desde el sistema de aire de arranque con una válvula reductora de presión de 30 a 7 bar. Tiene un colector o anillo de aire comprimido que alimenta todos los consumidores: soplado de tomas de mar, conexiones de manguera para conectado de herramientas, alimentación de motores neumáticos, limpieza de filtros, relleno de los tanques presurizados, etc.

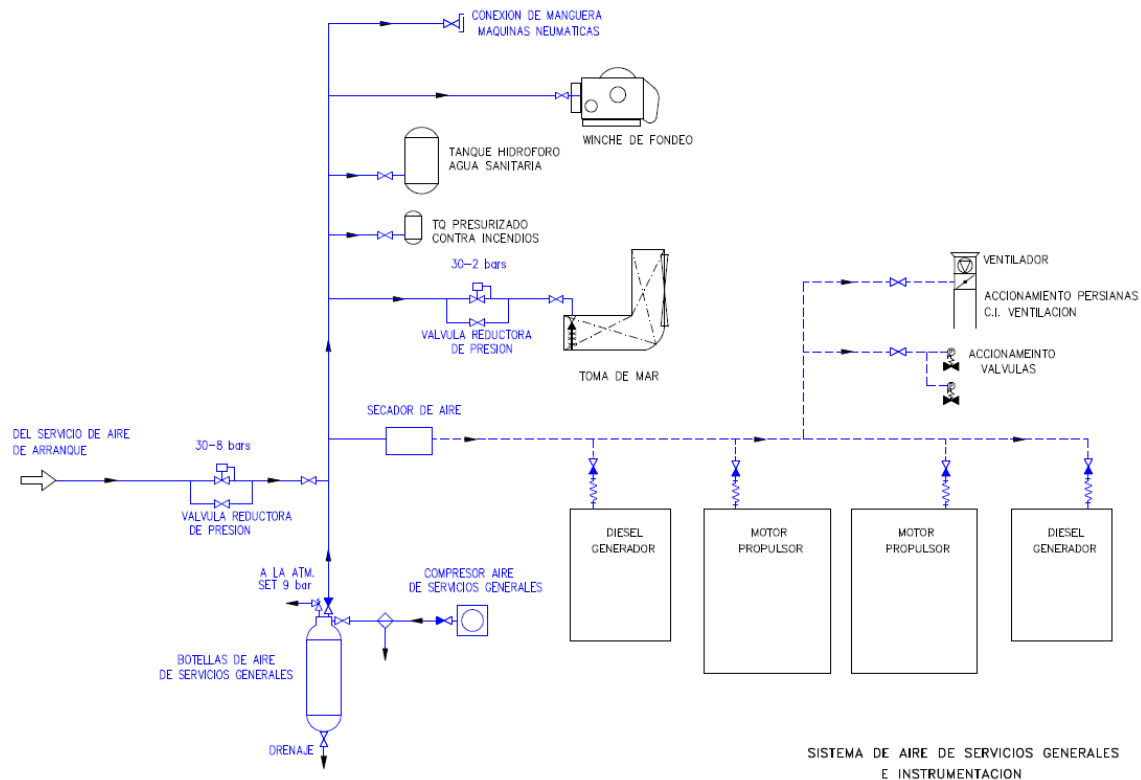


Figura 16. Esquema del sistema de aire de servicios generales

Según lo indicado en el “Product Guide”, las cualidades que debe tener este aire de servicios generales son:

Design pressure	1 MPa (10 bar)
Nominal pressure	0.7 MPa (7 bar)
Dew point temperature	+3°C
Max. oil content	1 mg/m <sup>3</sup>
Max. particle size	3 µm

#### 4.7.2.1. Compresor de aire de servicios generales

El caudal de aire necesario será función del número de consumidores y la cantidad de aire que necesiten. El compresor de aire de servicios generales se dimensiona para el caudal necesario.

$$Q_{comp} = Q_{serv} \left( \frac{Nm^3}{h} \right)$$

Se estima este valor en **4 Nm<sup>3</sup>/h**.

#### 4.7.2.2. Botella de aire de servicios generales

La botella de aire de servicios generales tendrá capacidad para dar servicio durante 15 minutos.

$$V_{bot} = \frac{Q_{serv} \cdot t}{(P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n})} (m^3)$$

- V<sub>bot</sub>: volumen de la botella (m<sup>3</sup>).
- Q<sub>serv</sub>: caudal de aire de servicios generales (Nm<sup>3</sup>/h).
- t: tiempo de servicio (15 minutos, 0,25 horas).
- P<sub>máx</sub>: presión máxima (10 bar).
- P<sub>mín</sub>: presión mínima (6 bar).

$$V_{bot} = \frac{4 \frac{Nm^3}{h} \cdot 0,25h}{(10bar - 6bar)} = 0,25m^3$$

#### 4.7.3. Sistema de instrumentación y control

Está también a 7 bar y aire seco. Se alimenta desde el sistema de aire de servicios generales, a través de un secador que trata el aire comprimido. Alimenta los consumidores: sistemas de control de equipos (motores, thrusers...), accionamiento de válvulas, accionamiento de persianillas contra incendios de ventilación.

#### 4.8. SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN DE GASES

Este sistema extrae los gases desde los motores hasta la atmósfera. Los gases se encuentran a alta temperatura, por lo que las tuberías deben ir aisladas y con cobertura de acero galvanizado. Para evitar pérdidas de carga, la tubería debe ser lo más corta y recta posible y los codos de gran diámetro. Cada motor debe tener su propio tubo de escape conectado directamente al aire libre. En la siguiente imagen se puede ver un esquema del sistema de gases de exhaustación:

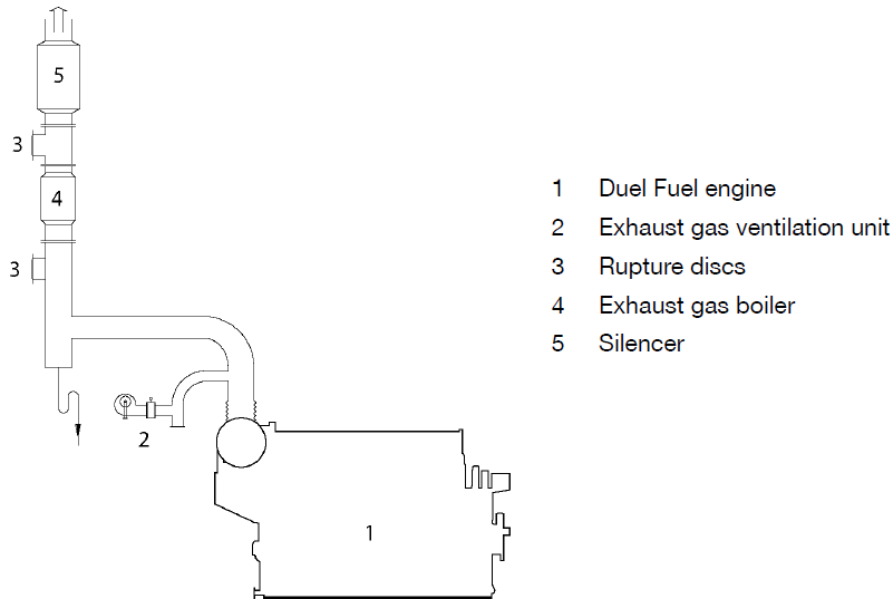


Figura 17. Sistema externo de gases de exhaustación

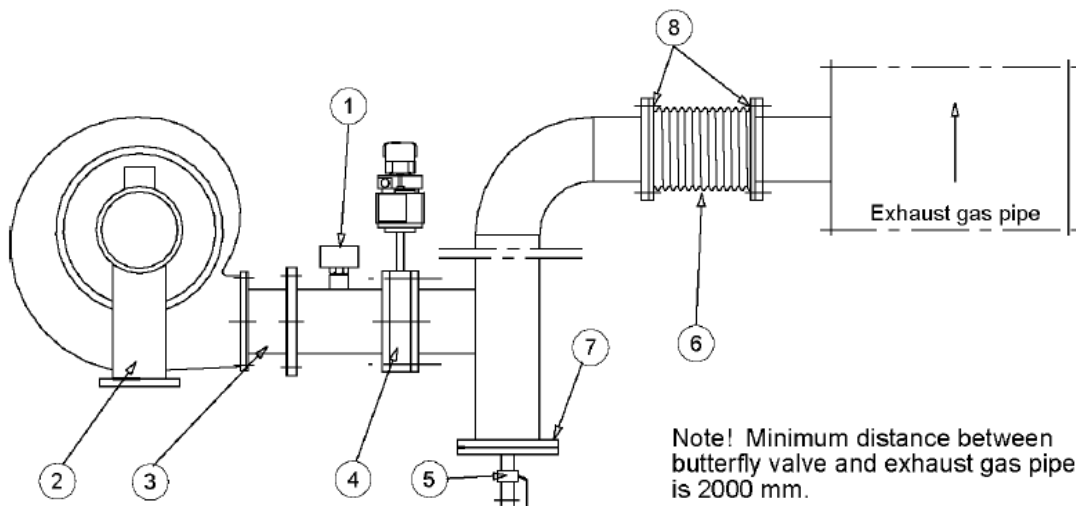
Las emisiones de los gases de escape de los motores duales consisten principalmente en nitrógeno, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua con pequeñas cantidades de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) e hidrocarburos y partículas no quemadas y parcialmente reaccionadas.

Debido a la alta eficiencia y el combustible empleado en un motor dual en modo gas, las emisiones de gases de escape cuando éstos funcionan con gas son extremadamente bajas. En un motor dual, como los que se instalan en el buque proyecto, la relación de aire-combustible es muy alta y uniforme a lo largo de los cilindros. Las temperaturas máximas y la posterior formación de  $\text{NO}_x$  son por tanto bajas, ya que la misma cantidad de calor específico liberado en la combustión se utiliza para calentar una gran masa de aire.

Aprovechando esta característica única del principio de mezcla pobre, las emisiones de  $\text{NO}_x$  de los Wärtsilä 9L34DF son muy bajas, cumpliendo con la legislación vigente. En modo gas se cumplen las restricciones más exigentes de la OMI, la EPA y la SECA, mientras que en modo diesel el motor dual es un motor diesel normal. Al régimen de funcionamiento de los motores, las emisiones medias en modo gas de  $\text{NO}_x$  son 1,4 g/kWh y las de  $\text{CO}_2$  469 g/kWh.

Todos los motores estándar de Wärtsilä cumplen con el nivel de emisiones de  $\text{NO}_x$  establecidos por la OMI. Además, esta compañía dispone de soluciones que pueden ser integradas en el buque proyecto para reducir significativamente las emisiones a la atmósfera de  $\text{NO}_x$  y de  $\text{SO}_x$ , cuando sea necesario, como el Wärtsilä  $\text{NO}_x$  reducer (NOR) o el Wärtsilä  $\text{SO}_x$  scrubber.

Se requiere un sistema de ventilación de gases de escape (exhaust gas ventilation unit, el número 2 de la figura 17) para purgar la tubería de escape después de que el motor se haya parado en el modo gas. Éste sistema es un requisito de clase que evita riesgos de explosión en las tuberías por la acumulación de gases combustibles. La unidad de ventilación debe estar formada por un ventilador centrífugo, un interruptor de flujo y una válvula de mariposa con posición de realimentación. La secuencia de la ventilación de gases de escape se controla automáticamente.



#### Unit components

1	Switch	5	Ball valve
2	Fan	6	Bellow
3	Bellow	7	Blind flange
4	Butterfly valve	8	Flange

Figura 18. Disposición de la ventilación de gases de escape

#### 4.8.1. Dimensionamiento de los colectores de gases de escape

Como se ha comentado antes, la tubería debe ser lo más corta y recta posible y los codos y expansiones deben ser suaves para minimizar la contrapresión. El flujo másico de los gases de escape que figura en el capítulo “Technical data” del “Product Guide” se puede traducir a velocidad utilizando la siguiente fórmula:

$$v = \frac{4 \cdot m'}{1,3 \cdot \left( \frac{273}{273 + T} \right) \cdot \pi \cdot D^2}$$

- v: velocidad del gas (m/s).
- m': flujo másico de gases de exhaustación (6,5 kg/s).
- T: temperatura de gases de exhaustación (355 °C).
- D: diámetro de la tubería de gases de exhaustación.

La velocidad de flujo recomendada en las tuberías es  $v = 35$  m/s. Despejando el diámetro D en la fórmula anterior:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,5 \frac{kg}{s}}{1,3 \cdot \left( \frac{273}{273 + 355^{\circ}C} \right) \cdot \pi \cdot 35 \frac{m}{s}}} = 0,647m$$

Teniendo en cuenta este valor obtenido, se ha elegido instalar unos colectores con un diámetro de **700 mm** según las indicaciones de Wärtsilä.

#### 4.8.2. Silenciador

El silenciador suministrado por el fabricante es de tipo absorción, equipado con un supresor de chispas o apagachispas. También está dotado de un respiradero de alivio de explosiones, un recogedor de hollín y drenaje de condensación. La atenuación de ruido del silenciador estándar es de entre 25 y 35 dB. Cada uno de los motores debe tener su propio silenciador y estos deben ser montados verticalmente.

Las dimensiones del silenciador de gases de exhasitación de pueden ver en la siguiente imagen:

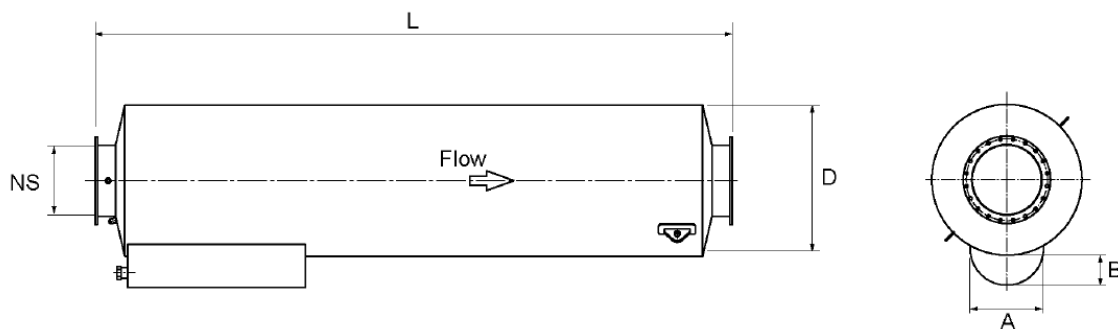


Figura 19. Dimensiones del silenciador de gases de exhaustación

NS	L (mm)	D (mm)	A (mm)	B (mm)	Weight (kg)
700	6550	1500	745	270	2330

Tabla 8. Dimensiones del silenciador de gases de exhasutación

#### 4.8.3. Caldereta de exhaustación

Los gases de exhaustación calientan el agua que pasa por el haz de tubos o el gas pasa por tubos que atraviesan el agua. Cada motor debe tener por separado una caldereta de exhaustación. Para el dimensionamiento de las calderetas, se puede estimar la potencia requerida a partir del caudal y la temperatura de los gases de escape:

$$P_{cal} = Q_{ex} \cdot (T_{ex} - T_{cal}) \cdot C_{ex} \frac{f}{100} \frac{1}{860}$$

- $Q_{ex}$ : caudal de gases de escape (23400 kg/h).
- $T_{ex}$ : temperatura de los gases después de la turbosoplante (355°C).
- $C_{ex}$ : calor específico de los gases de escape (0,24 kcal/kg°C).
- $T_{cal}$ : temperatura a la salida de la caldera (180°C).
- $f$ : pérdidas estimadas 3%.

$$P_{cal} = 23400 \frac{kg}{h} \cdot (355^{\circ}C - 180^{\circ}C) \cdot 0,24 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \frac{3}{100} \frac{1}{860} = 34,28kW \approx 35kW$$

Se instalarán, por tanto, **cuatro calderetas de exhaustación de 35 kW de potencia cada una.**

#### 4.8.4. Dimensionamiento del guardacalor

Según las dimensiones de los distintos componentes del sistema de exhaustación de gases de ha decidido instalar un guardacalor (casing) de 9 m<sup>2</sup> de superficie, 5 x 4 m.

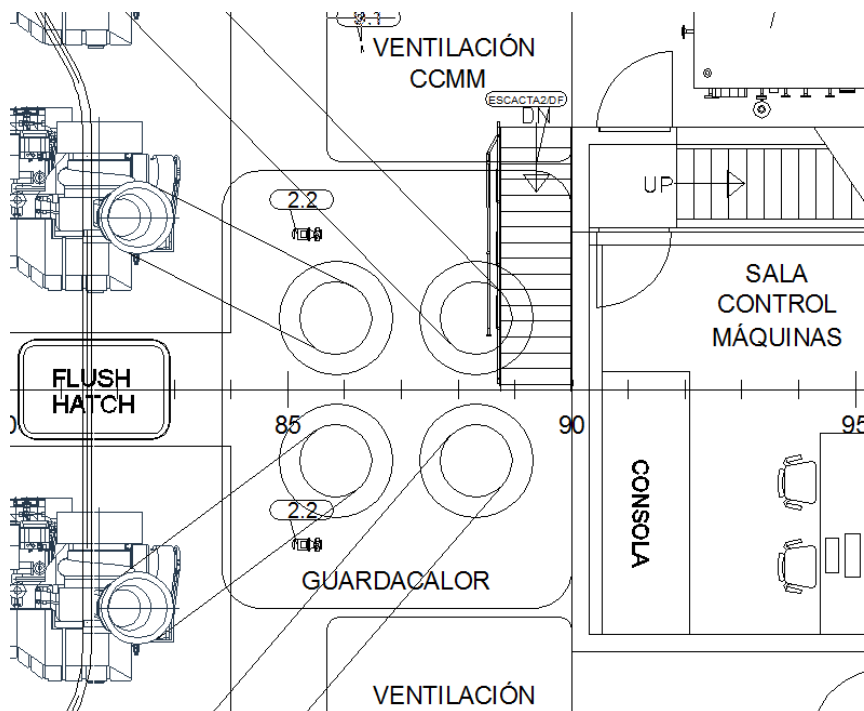


Figura 20. Guardacalor del buque proyecto



#### 4.9. SISTEMA DE VENTILACIÓN

Para mantener unas condiciones aceptables de operación de los grupos electrógenos y para garantizar un funcionamiento sin problemas de todos los equipos, se debe poner atención a la ventilación en cámara de máquinas y al suministro de aire para la combustión.

Este sistema deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Suministrar aire suficiente para la combustión en los motores.
- Disipar la radiación de los equipos a bordo para mantener una temperatura adecuada en el interior de los locales de máquinas.
- Garantizar una renovación adecuada del aire en el interior de la cámara de máquinas para crear una atmósfera respirable.

Además, el sistema de ventilación deberá disponer de:

- **Circuito de impulsión.** Introduce el aire en el interior del local. El aire es impulsado por ventiladores axiales o centrífugos. Este circuito conduce el aire hacia los equipos de mayor consumo y se emplea además para ventilar adecuadamente todo el espacio de cámara de máquinas. En las descargas de aire se dispondrán rejillas regulables.
- **Circuito de extracción.** Extrae el aire caliente del local. Se produce la extracción de aire de forma natural por la parte alta del local a través del guardacalor. Se dispondrá una rejilla en la salida de aire que se pueda cerrar.

Las entradas de aire deben estar alejadas de las salidas para evitar tomar aire caliente para ventilación. En la siguiente imagen se muestra un esquema de la ventilación en cámara de máquinas:

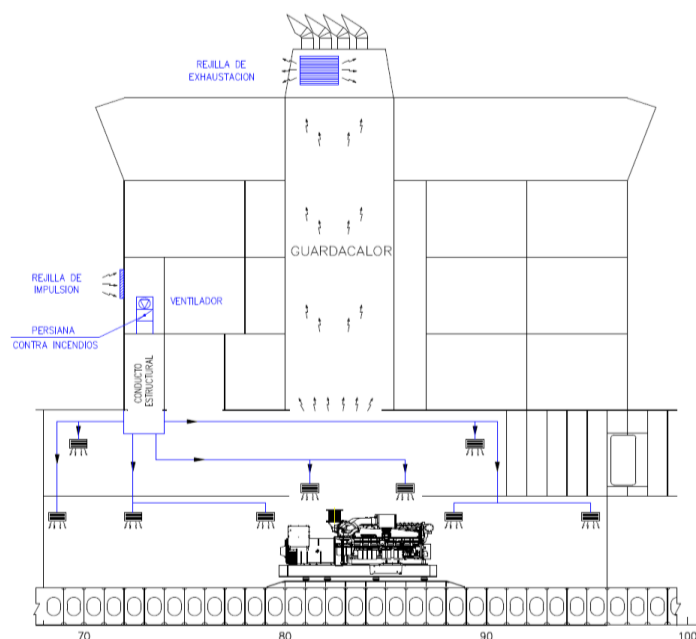


Figura 21. Esquema de la ventilación en cámara de máquinas

Todas las tomas de aire de entrada y salida a la cámara de máquinas deben disponer de un medio estanco de cierre. Estarán ubicadas y diseñadas de tal manera que los rociones de agua, la lluvia, el polvo o los gases de escape no puedan entrar en los conductos del sistema de ventilación.

El aire de ventilación de la cámara de máquinas tiene que ser proporcionado por ventiladores separados.

#### 4.9.1. Caudal de aire en cámara de máquinas

Para hacer el cálculo del caudal de aire en cámara de máquinas, se deben estudiar las diferentes condiciones de funcionamiento en que debe operar la cámara de máquinas:

- **Navegación.** Con los motores en servicio se produce el mayor consumo de aire.
- **En puerto.** Los motores están parados, únicamente se requiere la renovación de aire.
- **Condiciones especiales de operación:** carga y descarga, operación en alta mar, etc. No se harán los cálculos para esta condición.

*Cudal total de aire = Caudal para disipación de calor + Caudal de combustión*

- **Navegación:**

Caudal para disipación de calor:

La cantidad de aire necesaria para la disipación de calor se calcula a partir del calor total emitido a evacuar (H). Para determinar este calor se deben considerar todas las fuentes de calor principales:

- Motores principales.
- Alternadores.
- Tubería de gases de exhaustación.
- Aparatos eléctricos y de iluminación.
- Tanques calentados.

Se recomienda considerar una temperatura del aire exterior no inferior a 35 °C y un aumento de temperatura de 11 °C para el aire de ventilación. La cantidad de aire necesaria para la disipación de calor se calcula entonces usando la fórmula:

$$Q_{disip} = \frac{H}{\rho \cdot c \cdot (T_{fin} - T_{ini})} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

- $Q_{disip}$ : caudal de aire para la disipación de calor (m<sup>3</sup>/s).

- H: calor total emitido a evacuar (kW).
- $\rho$ : densidad del aire ( $1,13 \text{ kg/m}^3$ ).
- c: calor específico del aire ( $1010 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ).
- $T_{\text{fin}}$ : temperatura de salida del aire ( $35^\circ\text{C}$ ).
- $T_{\text{fin}}$ : temperatura de salida del aire ( $24^\circ\text{C}$ ).

Se calculará entonces primero el calor total emitido a evacuar. En el “Product Guide” se indica el calor emitido por los Wärtsilä 9L34DF.

-Calor a disipar:

$$H = H_{\text{mot}} + H_{\text{tubex}} + H_{\text{el}}$$

- Calor emitido grupos diesel:

$$H_{\text{mot}} = 3 \cdot 160 \text{ kW} = 480 \text{ kW}$$

- Calor emitido tuberías de exhaustación:

Se calculará teniendo en cuenta que, para un conducto de exhaustación de un motor de 4T la disipación es  $255 \text{ W/m}^2$ .

El área de disipación de la tubería de exhaustación se calcula con:

- Longitud de la tubería ( $L_t = 30,5 \text{ m}$ ).
- Diámetro hasta el punto medio del espesor del aislamiento.

$$D = D_{\text{ext tub}} + \frac{a_{\text{is}}}{2} = 700 \text{ mm} + 24 \text{ mm} = 724 \text{ mm}$$

Área tubería de exhaustación:

$$A_{\text{exh}} = L_t \cdot 2\pi R = 30,5 \text{ m} \cdot 2\pi \cdot 0,362 \text{ m} = 69,37 \text{ m}^2$$

Calor tuberías exhaustación:

$$H_{\text{tubex}} = 3 \cdot 255 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{exh}} = 3 \cdot 255 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 69,37 \text{ m}^2 = 53,1 \text{ kW}$$

- Calor emitido aparatos eléctricos y de iluminación:

Al no conocer la potencia en la cámara de máquinas, se puede estimar como un porcentaje de la potencia eléctrica total a bordo, que como se dijo en el apartado 2.1., se estima en 1500 kW.

$$H_{\text{el}} = P_{\text{el}} \cdot 10\% = 1500 \text{ kW} \cdot 0,10 = 150 \text{ kW}$$

Con estos datos, el valor del calor a disipar es:

$$H = H_{\text{mot}} + H_{\text{tubex}} + H_{\text{el}} = 480 \text{ kW} + 53,1 \text{ kW} + 150 \text{ kW} = 683,1 \text{ kW}$$

Por tanto, el caudal de aire necesario para la disipación de calor se puede obtener, como se indicó antes, con la fórmula:

$$Q_{\text{disip}} = \frac{683100 \text{ W}}{1,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1010 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (35^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})} = 54,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 195900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Caudal para combustión:

Por lo general, el aire para la combustión se toma de la cámara de máquinas a través de un filtro en el turbocompresor. Esto reduce el riesgo de temperaturas demasiado bajas (la temperatura en la entrada del turbocompresor debe mantenerse entre 15 y 35 °C) y la contaminación del aire de combustión (mar, polvos, humos, etc.). En el apartado 3 del “Product Guide”, “Technical Data”, se indica que el flujo másico de aire para la combustión debe ser de 8,1 kg/s. Se puede utilizar la siguiente expresión para calcular el flujo de volumen de aire de combustión:

$$Q_c = \frac{m'}{\rho}$$

- $Q_c$ : caudal de aire para la combustión ( $m^3/s$ ).
- $m'$ : flujo másico de aire para la combustión (8,1 kg/s).
- $\rho$ : densidad del aire ( $1,15 \text{ kg/m}^3$ ).

$$Q_c = 3 \cdot \frac{8,1 \frac{kg}{s}}{1,15 \frac{kg}{m^3}} = 21,13 \frac{m^3}{s} \approx 76100 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, el caudal total mínimo necesario de aire en la condición de navegación es:

$$\text{Caudal total de aire} = Q_{disip} + Q_c = 195900 \frac{m^3}{h} + 76100 \frac{m^3}{h} = 272000 \frac{m^3}{h}$$

Según se indica en el “Product Guide” de los grupos electrógenos, se requieren 30 renovaciones cada hora. Se comprueba que se cumple este valor a partir del volumen de la cámara de máquinas ( $3000 \text{ m}^3$  aproximadamente):

$$\text{Renovaciones} = \frac{Q_{total \text{ aire}}}{V_{cmáq}} = \frac{272000 \frac{m^3}{h}}{3000 m^3} = 90 \text{ren}$$

- **En puerto:**

El caudal total de aire en la situación de puerto se calculará a partir del volumen de la cámara de máquinas, teniendo en cuenta que se requieren 30 renovaciones por hora, ya que se estará trasegando gas natural (Requisito de Lloyd’s Register).

$$Q_{Cmáq} = V_{cmáq} \cdot N_{ren} = 3000 m^3 \cdot 30 \frac{ren}{h} = 90000 \frac{m^3}{h}$$

#### 4.9.2. Cálculo de los ventiladores

El número de ventiladores será como mínimo 2, para que en caso de fallo se pueda mantener operativa la cámara de máquinas. La combinación de las capacidades de los ventiladores debe poder cubrir de forma adecuada todas las condiciones de operación. Al menos uno de los ventiladores debe ser reversible para poder extraer el gas contra incendios.

Los ventiladores deben tener preferentemente motores eléctricos de doble velocidad (o de velocidad variable) para aumentar la flexibilidad del sistema. En instalaciones con varios motores, como el caso del buque proyecto, cada motor debe tener preferentemente su propio ventilador de aire para la combustión. De este modo el flujo de aire se puede adaptar al número de motores en operación.

Para la elección del número y capacidad de los ventiladores a instalar a bordo hay que fijarse en el caudal de aire que requiere el sistema de ventilación dispuesto en cámara de máquinas. La condición de navegación es la más exigente de todas y es la que se considerará para la capacidad de los ventiladores, pero teniendo en cuenta las necesidades de las otras condiciones de operación.

Se instalarán, por tanto, **6 unidades de ventilación** (ventiladores de flujo axial):

- 4 unidades encima de los grupos diesel, de velocidad regulable, con un caudal de 21845/54700 m<sup>3</sup>/h y una potencia instalada de 7,5 kW.

- 2 unidades a babor y estribor del buque respectivamente, ambas reversibles de velocidad única con un caudal de 54000 m<sup>3</sup>/h y una potencia de 5,5 kW.

El suministro de aire de ventilación se realiza a través de conductos con descargas distribuidas en toda la cámara de máquinas, de manera que no queden zonas sin ventilación. Los conductos tendrán la sección necesaria para evitar pérdidas de carga excesivas y las bocas se dimensionarán para evitar un excesivo nivel de ruidos.

La evacuación del aire introducido por estos ventiladores se produce a través del guardacalor de forma natural. El caudal de aire de salida será igual al caudal de entrada.

#### 4.10. SISTEMAS DE AGUA

Los sistemas de agua del buque se dividen en el sistema de agua sanitaria y el sistema de aguas residuales. Se describen a continuación:

#### 4.10.1. Sistema de agua sanitaria

El sistema deberá cumplir con los siguientes requerimientos: tratamiento del agua dulce para consumo humano, suministrar agua a todos los aseos (lavabos, duchas, inodoro), suministro de agua a otros servicios de acomodación (servicios de lavandería, servicios de cocina, limpieza de ventanas del puente) y suministro de agua a espacios de cámara de máquinas (circuito de agua dulce).

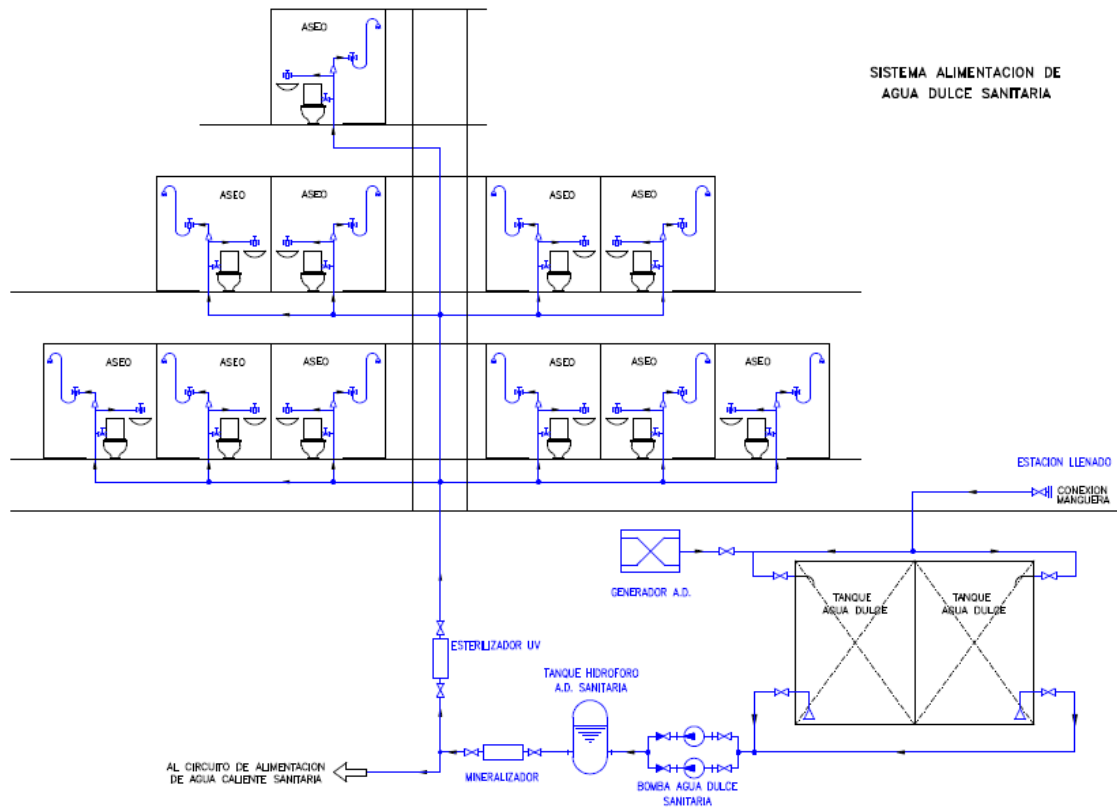


Figura 22. Esquema del sistema de alimentación de agua dulce sanitaria

##### 4.10.1.1. Bomba de trasiego de agua sanitaria

Toman el agua de los tanques almacén de agua dulce, de 610,4 m<sup>3</sup> de capacidad total, y llenan el tanque hidróforo. Deberá tener la siguiente capacidad:

$$Q_{ad} = N_{per} \cdot C_{ad} \cdot f$$

- $N_{per}$ : número de personas a bordo (45 personas).
- $C_{ad}$ : consumo de agua dulce por persona (180 l/per h)
- $f$ : factor de operación (50% de las personas al mismo tiempo).

$$Q_{ad} = 45_{per} \cdot 180 \frac{l}{per \cdot h} \cdot 0,50 = 4050 \frac{l}{h} \approx 4,10 \frac{m^3}{h}$$

#### 4.10.1.2. Cálculo del tanque hidróforo

Tanque presurizado que garantiza la salida de agua sanitaria en todos los consumidores y a una presión adecuada. Tiene medidor de nivel, manómetro, válvula de seguridad, presostato para el control de las bombas y válvula de vaciado.

La presión del tanque es función de la altura a vencer, las pérdidas de carga y la presión de descarga.

$$P = H + P_{erd} + P_{des}$$

- H: altura desde el punto más bajo y más alto de la instalación (23m).
- $P_{erd}$ : pérdidas de carga en el circuito (15% H).
- $P_{des}$ : presión de descarga (1 bar).

$$P = 2,3bar + 0,15 \cdot 2,3bar + 1bar = 3,65bar$$

El volumen del tanque será función de las veces que queramos que arranquen las bombas para rellenarlo y las presiones entre que queramos que trabaje.

$$V_{hidróforo} = 30 \cdot \frac{Q_{ad}}{n} \cdot \frac{P_{par} \cdot P_{arr}}{P_{par} - P_{arr}}$$

- $P_{arr}$ : presión de arranque, presión mínima para cumplir con los requerimientos del sistema (H).
- $P_{par}$ : presión de parada, 2 bar por encima de la presión mínima.
- n: frecuencia de funcionamiento, cuántas arrancadas por hora de la bomba para rellenar el tanque hidróforo (12 arr/min).

$$V_{hidróforo} = 30 \cdot \frac{4,10 \frac{m^3}{h}}{12 \frac{arr}{min} \cdot 60 \frac{min}{h}} \cdot \frac{4,3bar \cdot 2,3bar}{4,3bar - 2,3bar} = 0,85m^3 = \mathbf{850l}$$

#### 4.10.1.3. Calentador de agua sanitaria

El sistema de alimentación de agua caliente sanitaria deberá cumplir con los siguientes requerimientos: suministrar agua caliente a todos los aseos (lavabos, duchas, inodoro), reciclar el agua en la instalación para mantenerla caliente y evitar la pérdida de agua dulce a bordo.

El calentador eléctrico se puede calcular de forma empírica en función del número de personas a bordo. Las especificaciones exigen una acomodación para 45 personas, por lo que el volumen necesario del calentador de agua sanitaria es **450 litros** y la potencia calorífica es **47 kW**.

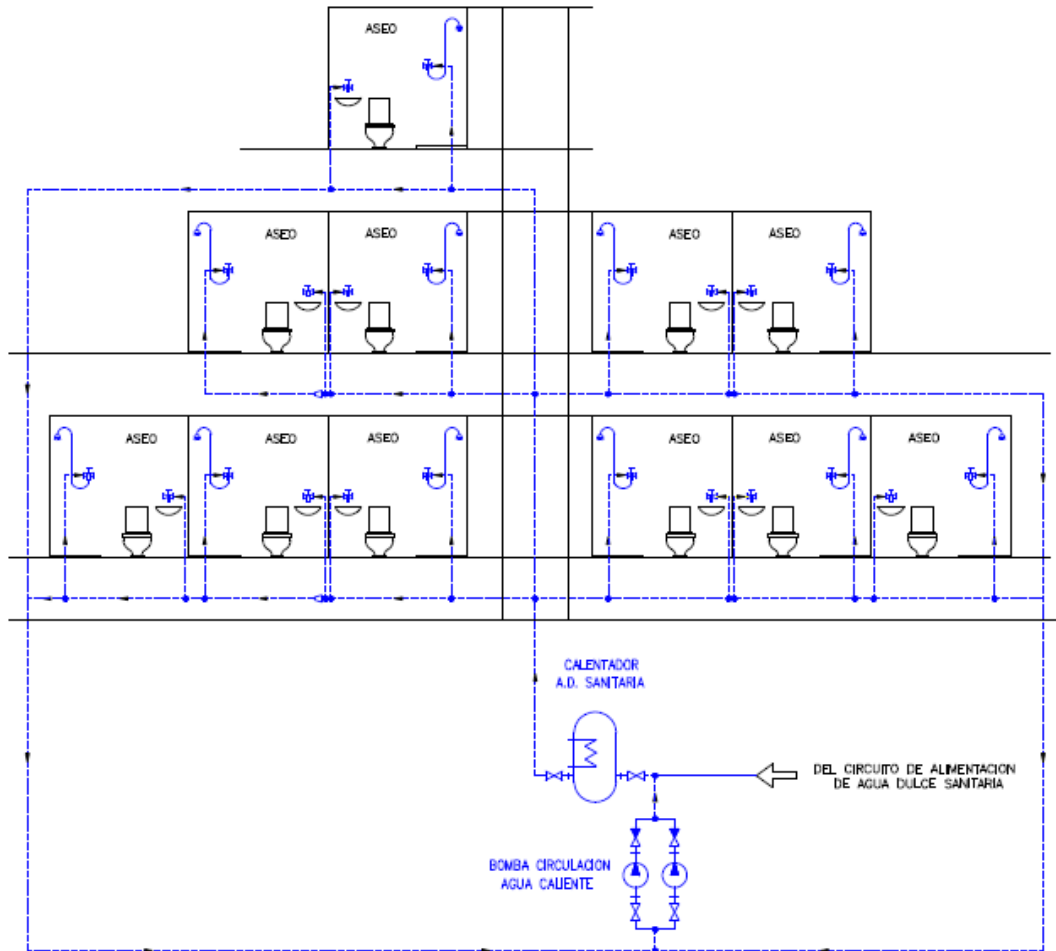


Figura 23. Esquema del sistema de alimentación de agua caliente sanitaria

#### 4.10.2. Sistema de aguas residuales

Es el sistema capaz de manipular las aguas residuales que se generan a bordo. Los tipos de aguas residuales son: aguas grises (de los lavabos, duchas, lavadoras, imbornales, etc...) y aguas negras (de los WC e inodoros). Este sistema deberá cumplir los siguientes requerimientos: recogida de las aguas residuales de todos los aseos y servicios de acomodación, tratamiento de las aguas residuales, almacenamiento de las aguas residuales a bordo para descargarlas a tierra y descarga al mar de las aguas residuales tratadas.



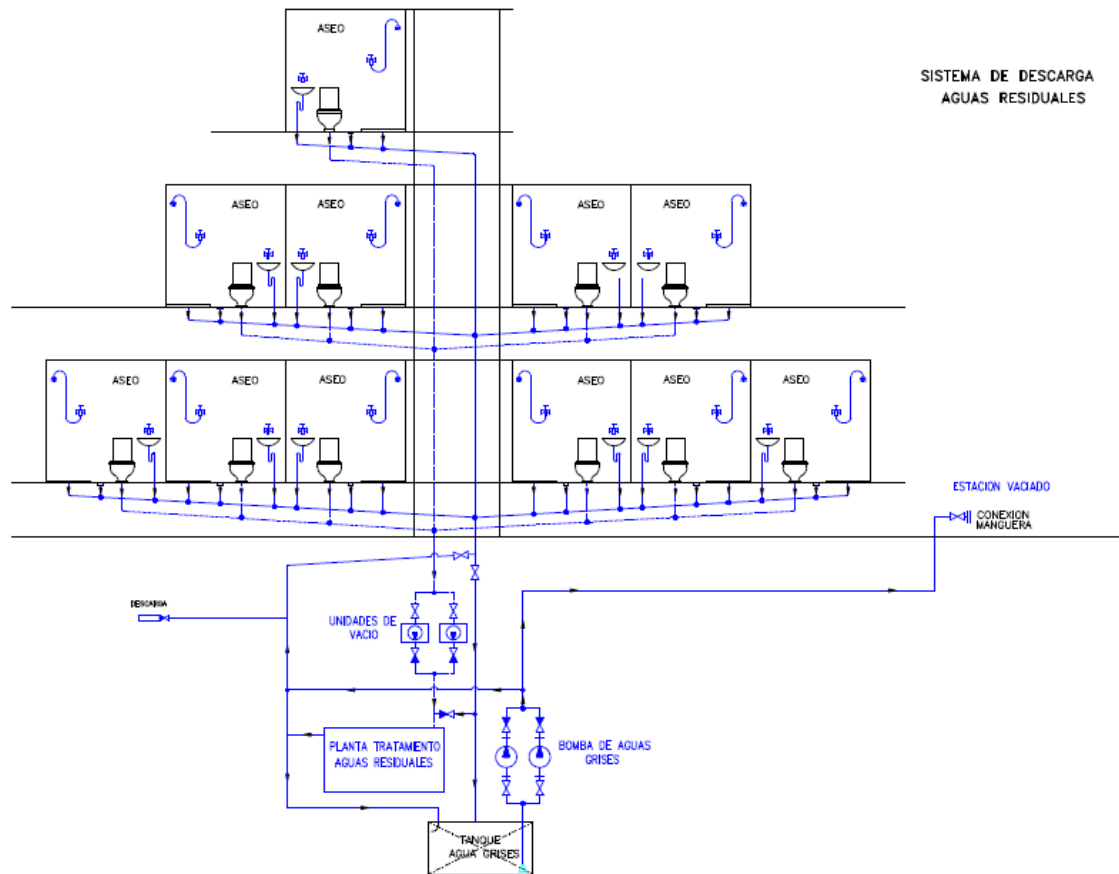


Figura 24. Esquema del sistema de descarga de aguas residuales

#### 4.10.2.1. Cálculo del volumen del tanque de aguas residuales

La producción de aguas residuales a bordo se puede estimar como:

- Aguas negras: 100 l/pers día.
- Aguas grises: 100 l/pers día.
- Lavandería: 40 l/pers día.
- Cocina: 60 l/pers día.

El volumen del tanque de aguas residuales se calcula como:

$$V_{ag} = C \cdot N_{per} \cdot T$$

- $N_{per}$ : número de personas a bordo (45 personas).
- $C$ : generación de aguas grises y negras por persona y día.
- $T$ : días de almacén de aguas residuales.

$$V_{agr} = 300 \frac{l}{pers \cdot día} \cdot 45pers \cdot 10días = 135000l = 135m^3$$

Se tendrán en cuenta las pérdidas de volumen por los refuerzos y un margen adicional de un 2%. Por lo tanto, el volumen real del tanque de aguas grises será:

$$V_{agr} = 140m^3$$

#### 4.10.2.2. Cálculo de la descarga a tierra de las aguas residuales

Las aguas residuales almacenadas a bordo deben poder ser descargadas a tierra para su eliminación.

Se dispondrá de:

- Bomba de aguas grises capaz de vaciar el tanque almacén de aguas grises a tierra en menos de 4 horas.

$$Q_{ag} = \frac{V_{ag}}{t}$$

- $V_{ag}$ : capacidad del tanque de aguas grises ( $140 m^3$ ).
- $t$ : tiempo de descarga (4 horas).

$$Q_{ag} = \frac{140m^3}{4h} = 35 \frac{m^3}{h}$$

- Descarga a tierra en cubierta expuesta de tipo internacional de acuerdo al Marpol (Regla 10 del Anexo 4):

*“Para que sea posible acoplar el conducto de las instalaciones de recepción con el conducto de descarga del buque, ambos estarán provistos de una conexión universal cuyas dimensiones se ajustarán a las indicadas en la siguiente tabla:”*

DIMENSIONADO UNIVERSAL DE BRIDAS PARA CONEXIONES DE DESCARGA	
Descripción	Dimensión
Diámetro exterior	210 mm
Diámetro interior	De acuerdo con el diámetro exterior del conducto
Diámetro del círculo de pernos	170 mm
Ranuras en la brida	Cuatro orificios equidistantes de 18 mm de diámetro en el círculo de pernos del diámetro citado y prolongados hasta la periferia de la brida por una ranura de 18 mm de ancho
Espesor de la brida	16 mm
Pernos y tuercas: cantidad y diámetro	Cuatro de 16 mm de diámetro y de longitud adecuada
La brida estará proyectada para acoplar conductos de un diámetro interior máximo de 100 mm y será de acero u otro material equivalente con una cara plana. La brida y su empaquetadura se calcularán para una presión de servicio de 600 kPa.	

Tabla 9. Dimensiones de la conexión universal según Marpol

#### 4.10.2.3. Cálculo de la descarga al mar de las aguas residuales

La reglamentación obliga a que la descarga de aguas residuales al mar sea controlada y a un ritmo máximo establecido. La descarga se producirá a más de 12 millas de la costa y a una velocidad mínima de 4 nudos. El caudal de descarga se calcula como:

$$DR_{m\acute{a}x} = 0,00926 \cdot V \cdot D \cdot B$$

- $DR_{m\acute{a}x}$ : descarga máxima permitida ( $m^3/h$ ).
- $V$ : velocidad media del buque durante el periodo de descarga (5 nudos).
- $D$ : calado (7,7 m).
- $B$ : manga (21,7 m).

$$DR_{m\acute{a}x} = 0,00926 \cdot 5 \cdot 7,7 \cdot 21,7 = 7,75 \frac{m^3}{h}$$

#### 4.10.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales

El Convenio MARPOL de la OMI (Organización Marítima Internacional) en el Anexo IV prescribe unas reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques. El buque proyecto se encuentra en el ámbito de aplicación de estas reglas ya que tiene un arqueo bruto superior a 400, con la excepción de la descarga de las aguas sucias cuando sea necesaria para proteger la seguridad del buque y de las personas que lleve a bordo o para salvar vidas en el mar ni la descarga de aguas sucias resultante de averías sufridas por el buque o su equipo, siempre que antes y después de producirse la avería se hayan tomado todas las precauciones razonables para prevenir o reducir al mínimo tal descarga.

El buque proyecto deberá estar equipado con:

- Una instalación de tratamiento de aguas sucias aprobada por la Administración, teniendo en cuenta las normas y los métodos de prueba elaborados por la OMI, o un sistema para desmenuzar y desinfectar las aguas sucias aprobado por la Administración.
- Un tanque de retención que tenga capacidad suficiente, a juicio de la Administración, para retener todas las aguas sucias, habida cuenta del servicio que presta el buque, el número de personas a bordo y otros factores pertinentes. El tanque de retención estará construido del modo que la Administración juzgue satisfactorio y estará dotado de medios para indicar visualmente la cantidad del contenido.

#### 4.11. SISTEMA DE LASTRE

Sistema capaz de controlar el calado del buque sin carga y corregir escoras y trimados del buque. Está diseñado para poder llenar con agua de mar y vaciar al mar todos los tanques de lastre. En general es necesario que el sistema sea capaz de trasegar agua entre tanques de lastre para poder compensar escoras y trimados. Las opciones de trasiego proa-popa y babor-estribor, entre todos los tanques, obligará a disponer colectores de succión y descarga o válvulas de corte en el colector.

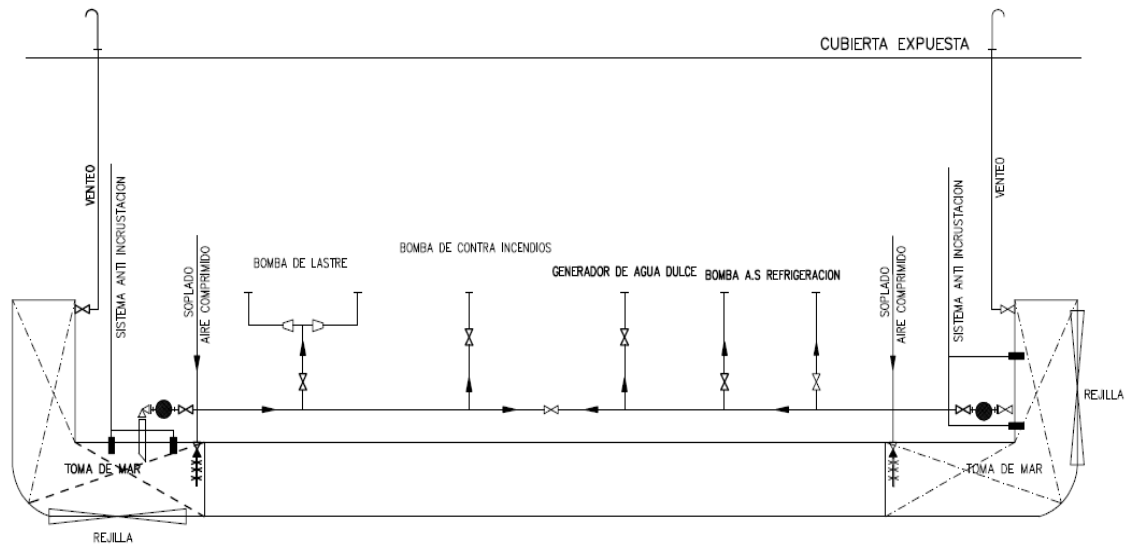


Figura 25. Esquema del sistema de lastre

##### 4.11.1. Bombas de lastre

Las bombas de lastre son autocebadas y con presión suficiente para poder descargar en la condición de calado máximo. Deben tener capacidad suficiente para deslastrar la capacidad total de los tanques de lastre en un tiempo determinado.

$$Q_{lastre} = \frac{V_{lastre}}{t_{lastre}}$$

- $V_{lastre}$ : suma de la capacidad de todos los tanques de lastre ( $1676,7m^3$ ).
- $T_{lastre}$ : tiempo de deslastrado (4 horas).

$$Q_{lastre} = \frac{V_{lastre}}{t_{lastre}} = \frac{1676,7m^3}{4h} = 419,2 \frac{m^3}{h}$$

Se instalarán **dos bombas** con una capacidad cada una de **300 m<sup>3</sup>/h**.

#### 4.11.2. Colector de tomas de mar

Para hacer el cálculo del colector de tomas de mar se debe hacer un balance del consumo de agua en función de los consumidores a bordo:

- Bombas de lastre (2 x 250 m<sup>3</sup>/h).
- Bombas de refrigeración de agua salada (3 x 920 m<sup>3</sup>/h).
- Bombas de contraincendios (2 x 50 m<sup>3</sup>/h).

El área interior del colector es:

$$A_{int} = \frac{\pi \cdot d_{int}^2}{4}$$

Y el diámetro interior:

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{col}}{v \cdot \pi}}$$

- v: se toma como velocidad máxima del agua salada en el colector 2 m/s.
- Q<sub>col</sub>: caudal de tomas de mar.

Para el cálculo del colector de tomas de mar, Q<sub>col</sub>, se hará un balance en el cual cada consumo de los equipos se multiplicará por un factor de simultaneidad y un factor de operación, para así poder calcular la necesidad de agua salada a bordo. Los equipos instalados y sus correspondientes factores son:

- 2 bombas de lastre de 300 m<sup>3</sup>/h. Factor de simultaneidad: 0,5. Factor de operación: 0,5.
- 3 bombas de refrigeración de agua salada de 920 m<sup>3</sup>/h, una de ellas de reserva. Factor de simultaneidad: 2/3. Factor de operación: 0,8.
- 2 bombas de contraincendios de 50 m<sup>3</sup>/h. Factor de simultaneidad 1. Factor de operación: 0,25.

Por lo tanto, el caudal del colector de tomas de mar será:

$$Q_{col} = 2 \cdot 300 \frac{m^3}{h} \cdot 0,5 \cdot 0,5 + 3 \cdot 920 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,8 + 2 \cdot 50 \frac{m^3}{h} \cdot 1 \cdot 0,25 = 1647 \frac{m^3}{h}$$

Se puede obtener ahora el diámetro interior mínimo del colector de tomas de mar:

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{1647 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}}{2 \frac{m}{s} \cdot \pi}} = 0,540 \text{ m}$$

Con lo cual el área interior mínima del colector es:

$$A_{int} = \frac{\pi \cdot (0,540m)^2}{4} = 0,229 \text{ m}^2$$

Habrán **dos tomas de mar**, una a babor y otra a estribor.

Las rejillas de las tomas de mar tendrán un área libre como mínimo del doble del área interna del colector de tomas de mar:

$$A_{libre \text{ tomas mar}} = 2 \cdot A_{int} = 2 \cdot 0,229m^2 = 0,458 \text{ m}^2$$

#### 4.11.3. Planta de tratamiento de agua de lastre

Se equipa al buque proyecto con un sistema de tratamiento de agua de lastre de la casa Wärtsilä, modelo AQUARIUS-300-UV de 48,7 kW de potencia instalada y caudal de 300 m<sup>3</sup>/h. Este equipo emplea un proceso simple de dos etapas (filtración y radiación ultravioleta) para tratar el agua de lastre en cualquier condición ambiental y de operación del buque. Durante la absorción, el agua de mar pasa primero a través de una rejilla de retrolavado de 40 micras para eliminar partículas, sedimentos, zooplancton y fitoplancton. A continuación, la desinfección del agua de mar filtrada se lleva a cabo usando lámparas ultravioleta.

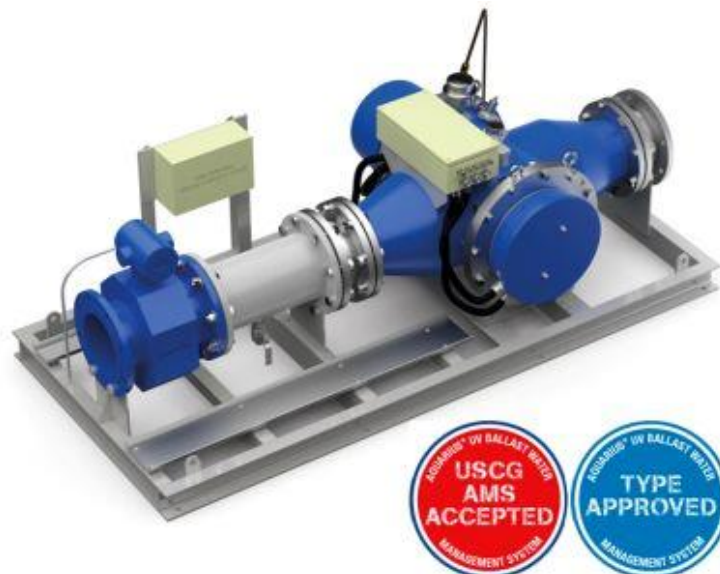


Figura 26. Sistema de tratamiento de agua de lastre Wärtsilä AQ-300-UV

## 5. Disposición general de la cámara de máquinas

En el Anexo I a este cuaderno 7 se presenta el plano con la disposición general de la cámara de máquinas. En él se muestran las secciones necesarias en los tres planos espaciales.

La cámara de máquinas está situada a proa del buque proyecto, entre las cuadernas 65 y 102 (eslora total 24,05 metros), donde se sitúan los mamparos de popa y proa de cámara de máquinas respectivamente. El doble fondo tiene una altura de 1,50 metros sobre la línea de base, la segunda cubierta está a 6,00 metros y la primera cubierta a 9,40 metros.

Los cuatro grupos electrógenos se sitúan sobre el doble fondo de la cámara de máquinas de forma simétrica, dos a babor y dos a estribor. Deberá haber una distancia mínima entre los cigüeñales de los grupos electrógenos, con el fin de proporcionar un espacio suficiente entre los motores para su mantenimiento y operación.

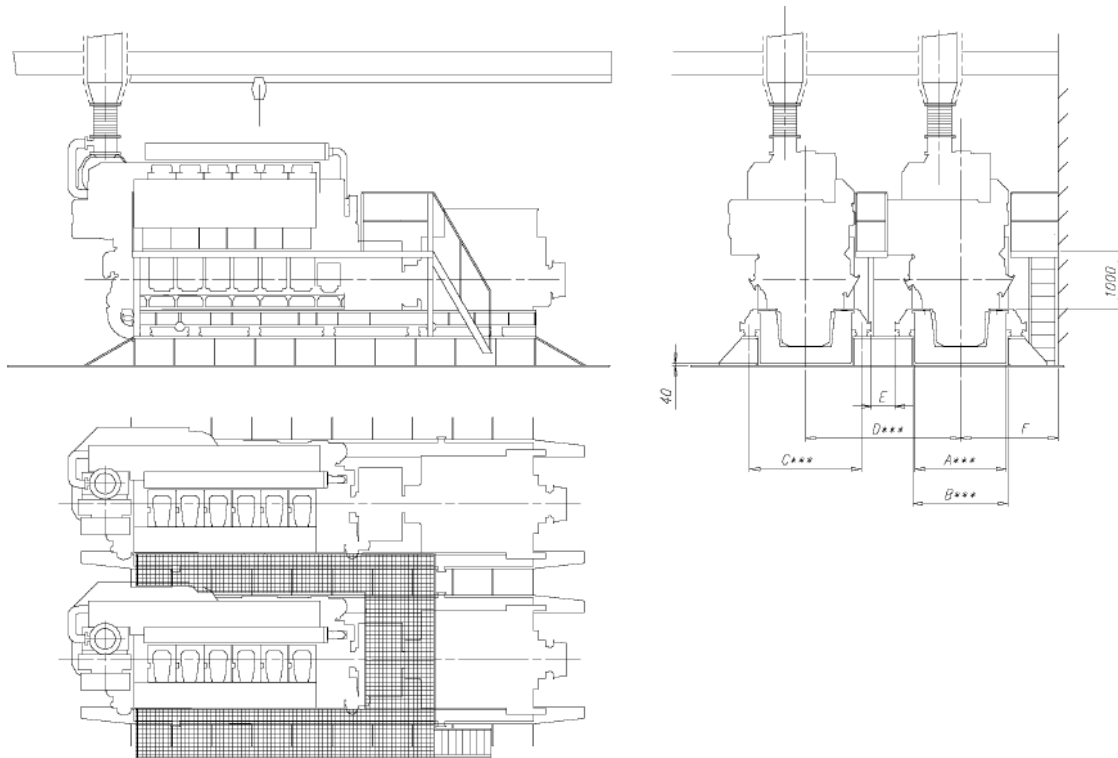


Figura 27. Plano de las distancias mínimas entre los grupos Wärtsilä 9L34DF

Engine	A***	B***	C***	D***	E	F
W 9L34DF	2200	2260	2510	2800	110	2000

Tabla 10. Dimensiones principales de las distancias mínimas entre los Wärtsilä 9L34DF

\*\*\*Dependant on the generator type.

All dimensions in mm.

El espacio de trabajo requerido alrededor del motor está determinado principalmente por las dimensiones de desmontaje de los componentes del motor y por la necesidad de espacio de algunas herramientas especiales. No obstante, también en

lugares donde no se requiere espacio para el desmontaje de las piezas del motor, se recomienda un mínimo de 1 metro de espacio libre para las operaciones de mantenimiento en todas las partes alrededor del motor.

El guardacalor está situado en crujía a popa de la cuaderna 90, con las dimensiones indicadas en el apartado 4.8.4. (5 x 4 metros), a proa de los motores. De esta forma, la salida de las tuberías de exhaustación es prácticamente directa al exterior. Como indica la normativa, la salida de emergencia de la cámara de máquinas será a través del guardacalor, mediante unas escaleras que dan a la cubierta A. Se colocarán sendas salidas de aire de ventilación sobre las dos parejas de grupos electrógenos de babor y de estribor, junto al guardacalor.

Habrà un taller en la segunda cubierta para poder realizar las labores de mantenimiento de los equipos y servicios que incluye la cámara de máquinas. La escotilla del taller de mantenimiento tiene que ser lo suficientemente grande como para permitir el transporte de los principales componentes a la cámara de máquinas.

La cabina de control está situada a proa del guardacalor, junto al acceso de proa a cámara de máquinas. En ella se dispone de un sistema de control y monitorización, el cual posibilita el funcionamiento desatendido de la cámara de máquinas. Se distribuirán sensores y alarmas adecuadas por todo el espacio de máquinas, además de cámaras de video, para realizar un control adecuado de todos los equipos y sistemas. La cabina de control cuenta con sus propios ventiladores para la ventilación y con conductos para aire acondicionado, además de aislamiento acústico.

Los accesos a la cámara de máquinas se sitúan a proa y a popa de la misma, mediante puertas estancas para evitar la propagación de incendios o inundaciones. Se podrá ir hasta ellas a través de escaleras que ascienden, desde el doble fondo hasta la 2ª cubierta las de popa y desde el doble fondo hasta la cubierta C las de proa.

Se sitúa en la segunda cubierta, justo a proa de la cabina de control, el compartimento de los cuadros de distribución eléctricos, convertidores de frecuencia y transformadores de alta y baja tensión.

Los tanques de servicio diario y los de sedimentación se situarán en el buque preferentemente de forma simétrica según la línea de crujía. Además, dichos tanques no deben quedar dispuestos adyacentes a los costados del buque. Todos los tanques de combustible cumplirán con el Reglamento de Derrames de MARPOL, que entró en vigor el año 2009. Esto afecta a los buques que lleven una cantidad de combustible mayor de 600 m<sup>3</sup> o a los tanques de combustible mayores de 30 m<sup>3</sup>.

Para separar los tanques de hidrocarburos de los de agua dulce ha sido necesario instalar un cofferdam que impida la contaminación en caso de fuga. Los tanques almacén de MDF se dispondrán de acuerdo con la capacidad necesaria calculada en el apartado 4.1., siguiendo su número y tamaño las siguientes directrices:



- Los tanques de almacenamiento se distribuirán como tanques centrales o por parejas de babor y estribor, siendo simétricos y evitando su instalación en los costados o en el fondo del buque.
- Los límites de los tanques en eslora deberán coincidir con varengas y siempre dentro de los límites de los mamparos estancos o de los mamparos divisorios de bodegas. Se evitará que ningún tanque solape los compartimentos.
- Su tamaño vendrá condicionado por la estabilidad del buque, de manera que ningún tanque o pareja de tanques al vaciarse incumpla los criterios exigidos. En general, los tanques de lastre no deberán ser mayores que los tanques de combustible.
- Todos los tanques sucios (tanque de sentinas, tanque de lodos, tanque de aceite sucio, tanque de aguas aceitosas) estarán situados en el doble fondo de cámara de máquinas.

En los costados del buque proyecto también se sitúan los tanques de almacén y de servicio de aceite lubricante y tanques de agua dulce y de agua de lastre.

La mayoría de los equipos se instalan sobre el doble fondo, que queda muy empachado y, por el contrario, la plataforma de la 2ª Cubierta queda más vacía. Las bombas de agua salada (de lastre, de refrigeración, de circulación, de sentinas, etc.) se sitúan cerca de las tomas de mar, para hacer el colector lo más corto posible.

Las tomas de mar se sitúan simétricas a proa de los intercambiadores de calor del sistema de refrigeración de los grupos principales Wärtsilä 9L34DF.

Las purificadoras definidas en el apartado 4.1.6. se instalan en locales independientes sobre el doble fondo en la parte de proa de la cámara de máquinas. Junto a estos dos locales se emplazan el separador de sentinas, la planta de tratamiento de aguas residuales y la planta de tratamiento de agua de lastre.

## 6. Resumen de resultados

En este apartado se hará un listado numerado e identificativo de todos los elementos definidos, incluyendo una estimación de potencia de aquellos equipos que requieran un consumo de energía. Lo que se ha hecho es, a partir de los resultados del apartado 4, con los valores de las capacidades mínimas necesarias, elegir unos equipos de los catálogos incluidos en el Anexo III.

Para la estimación de potencia de las electrobombas se ha usado la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q \cdot p}{\eta_h \cdot \eta_e}$$

- P: potencia requerida (kW).
- Q: caudal de la bomba (m<sup>3</sup>/h).
- p: presión de descarga de la bomba (kPa).
- $\eta_h$ : rendimiento hidráulico de la bomba.
- $\eta_e$ : rendimiento eléctrico del motor que acciona la bomba (se considerará que es 0,9 en todos los casos).

El rendimiento hidráulico,  $\eta_h$ , varía en función del caudal de la bomba como se indica en esta tabla:

Bombas centrífugas		Bombas de husillos y engranajes	
Q (m <sup>3</sup> /h)	$\eta_h$	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\eta_h$
700<Q	0,78	250<Q	0,50
600<Q<700	0,77	200<Q<250	0,49
500<Q<600	0,76	125<Q<200	0,48
400<Q<500	0,75	60<Q<125	0,47
300<Q<400	0,73	30<Q<60	0,46
250<Q<300	0,71	10<Q<30	0,45
200<Q<250	0,70	5<Q<10	0,44
150<Q<200	0,69	1,5<Q<5	0,42
100<Q<150	0,68	0,3<Q<1,5	0,40
75<Q<100	0,67		
50<Q<75	0,65		
30<Q<50	0,62		
20<Q<30	0,60		
10<Q<20	0,55		
5<Q<10	0,50		
2<Q<5	0,45		

Tabla 11. Rendimientos de bombas

En la siguiente tabla se resumen los resultados de este cuaderno.

PROPULSIÓN				
Equipo	Número	Potencia motor (kW)	Potencia eléctrica (kW)	
Wärtsilä Genset 9L34DF	4	4050	3890	
SISTEMAS EN CÁMARA DE MÁQUINAS				
Sistema	Equipo	Nº	Capacidad	Potencia
SISTEMA DE COMBUSTIBLE				
	Tanque de servicio diario	1	21,10 m³	
	Tanque de sedimentación	1	65 m³	
	Bomba de trasiego	2	35 m³/h	27,9 kW
	Tanque de reboses	1	6 m³	
	Tanques de MDF	1	1400 m³	
	Tanques de CNG	2	312 N m³	
	Purificadoras	2	3 m³/h	85 kW
SISTEMA DE ACEITE				
	Tanque almacén aceite motores	1	80 m³	
	Bomba llenado aceite	2	3 m³/h	1,2 kW
	Tanque almacén aceite cilindros	1	3 m³	
	Tanque servicio diario aceite cilindros	1	0,05 m³	
	Bomba aceite de cilindros	2	0,025 m³/h	10 W
SISTEMA DE SENTINAS				
	Bomba de sentinas	2	40 m³/h	39 kW
	Bomba auxiliar de sentinas	1	3 m³/h	1,2 kW
	Tanque de sentinas	1	9 m³	
SISTEMA DE LODOS				
	Tanque de lodos	1	12 m³	
	Tanque de aguas aceitosas	1	6 m³	
	Tanque de aceite sucio	1	20 m³	
	Bomba de lodos	1	18 m³/h	6,1 kW
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN				
	Bombas stand-by	2	80 m³/h	9,2 kW
	Bomba agua salada	4	1000 m³/h	504 kW
	Intercambiador de calor	4		
	Precalentador	4		45 kW
SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS				
	Bomba contra incendios	4	50 m³/h	6 kW
	Bomba contra incendios de emergencia	1	25 m³/h	3 kW
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO				
Sistema de aire de arranque	Botella de aire de arranque	2	250 l	
	Compresor aire de arranque	2	15 Nm³/h	15 kW
Sistema de aire de servicios generales	Compresor de aire de servicios generales	1	4 Nm³/h	4 kW
	Botella de aire de servicios generales	1	250 l	
SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN DE GASES				
	Silenciador	4		
	Caldereta de exhaustación	4		35 kW
	Guardacalor	1	5 x 4 m	

SISTEMA DE VENTILACIÓN				
	Ventiladores de velocidad regulable	4	21845/54700 m <sup>3</sup> /h	7,5 kW
	Ventiladores reversibles	2	54000 m <sup>3</sup> /h	5,5 kW
SISTEMAS DE AGUA				
Sistema de agua sanitaria	Bomba de trasiego de agua sanitaria	2	3 m <sup>3</sup> /h	1,2 kW
	Tanque hidróforo	1	850 l	
	Calentador de agua sanitaria	1	450 l	47 kW
Sistema de aguas residuales	Tanque de aguas residuales	1	140 m <sup>3</sup>	
	Bomba de aguas residuales	1	35 m <sup>3</sup> /h	28 kW
	Descarga al mar de aguas residuales	1	9 m <sup>3</sup> /h	12,3 kW
	Planta de tratamiento de aguas residuales	1		
SISTEMA DE LASTRE				
	Bombas de lastre	2	300 m <sup>3</sup> /h	127 kW
	Tomas de mar	2	0,458 m <sup>2</sup>	
	Planta de tratamiento de agua de lastre	2	300 m <sup>3</sup> /h	48,7 kW

Tabla 12. Resumen de equipos y sistemas en cámara de máquinas

Los caudales y presiones de las diferentes bombas se han cogido del catálogo de Azcue (anexo IIIa) y los datos de los ventiladores del catálogo de Sodeca (anexo IIIb).



## **7. Bibliografía general.**

### **7.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Alfonso López de Asiaín Zabia. Apuntes de la asignatura *Diseño de Cámara de Máquinas*. Plan 2002. ETSIN.
- [3] Carlos Arias Rodrigo. Apuntes de la asignatura *Diseño de Cámara de Máquinas*. Plan 2002. ETSIN.
- [4] Wärtsilä Engines. [Guía de Producto]. *Wärtsilä 34DF Product Guide*.
- [5] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2012/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de Noviembre de 2012*.
- [6] Parlamento europeo. [Web en línea]. Regulación <> <http://www.europarl.europa.eu>.
- [7] *Convenio MARPOL*. OMI.
- [8] Puertos del Estado. [Web en línea] Distancias interpuertos <> <http://www.puertos.es>
- [9] Puerto de Bilbao. [Web en línea]. Catálogo comercial 2013 – Autoridad Portuaria de Bilbao. <> <http://www.bilbaoport.es>
- [10] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [11] *Convenio SOLAS*. OMI.

### **7.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. <> <http://www.wartsila.com/>
- [2] Jernkontoret. [Web en línea]. Energy & Environment / Transportation <> <http://www.jernkontoret.se>
- [3] SinoCleansky. [Web en línea]. Tanques de CNG <> <http://www.sinongv.com>
- [4] Repsol. [Guía de Producto]. *Lubricantes*.
- [5] Azcue [Guía de producto]. *Bombas*.
- [6] Sodeca. [Guía de producto]. *Ventiladores*.

## **7. ANEXO I – Disposición general de la cámara de máquinas**

## **8. ANEXO II - Aceite lubricante Repsol**

## **9 ANEXO III – Catálogo de bombas Azcue y de ventiladores Sodeca**



## **10 ANEXO IV - Wärtsilä 34DF product guide**







### Descripción

Los aceites Marino 3 constituyen una gama de lubricantes marinos formulados especialmente para la lubricación de motores diesel de 4T de alta y media velocidad.

Está indicado para motores rápidos y semirrápidos modernos usando combustibles destilados y semidestilados hasta contenidos del 1% de azufre o Marine Diesel Oil (MDO).

### Cualidades

- Alta capacidad detergente que mantiene limpio el motor.
- Reserva alcalina (TBN) adecuada, que le confiere gran capacidad para neutralizar los ácidos formados en la combustión.
- Excelente estabilidad térmica.
- Buena filtrabilidad.

### Niveles de calidad

- API CF/CD
- MAN 270
- ACEA E2
- MTU Type 1
- MB 228.0

### Características técnicas

	UNIDAD	METODO	VALOR	
Grado S.A.E.			30	40
Color		ASTM D 1500	4,5	4,5
Densidad a 15 °C	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 4052	0,892	0,897
Viscosidad a 100 °C	cSt	ASTM D 445	11,9	14,9
Viscosidad a 40 °C	cSt	ASTM D 445	105	148
Índice de viscosidad	-	ASTM D 2270	98 mín.	98 mín.
Punto de Inflamación, vaso abierto	°C	ASTM D 92	215 mín.	225 mín.
Punto de congelación	°C	ASTM D 97	-24	-21
TBN	mg KOH/g	ASTM D 2896	12	12
Cenizas sulfatadas	% en peso	ASTM D 874	1,5	1,5

Existe una ficha de datos de seguridad disponible bajo petición.

repsol.com  
+34 901 111 999

Ficha técnica Lubricantes. Revisión 5. Febrero 2014.

# azcue



pumps

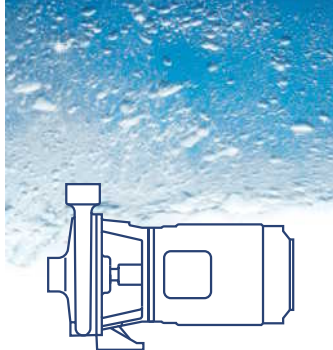
pumpen

**azcue**

bombas

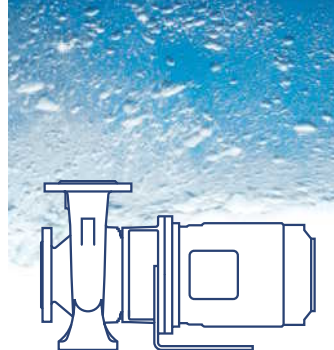
pompes

Programa de fabricación  
*Manufacturing program*  
Programme de fabrication



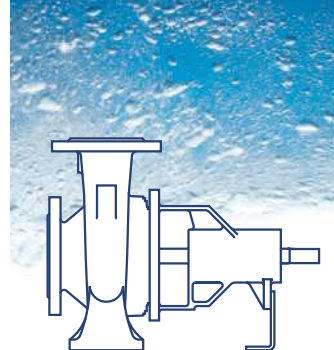
**CP**

**Q < 75 m<sup>3</sup>/h  
H < 50 m  
DN 1" – 3"  
T < 80°C**



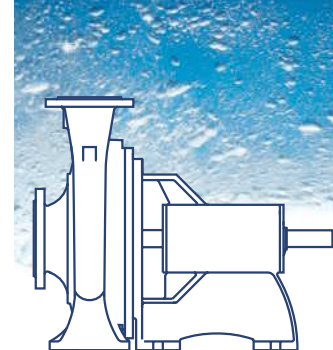
**MN**

**Q < 500 m<sup>3</sup>/h  
H < 100 m  
DN 32 – 150  
T < 120°C**



**AN**

**Q < 700 m<sup>3</sup>/h  
H < 100 m  
DN 32 – 150  
T < 120 (190)°C**



**BOB**

**Q < 2000 m<sup>3</sup>/h  
H < 30 - 150 m  
DN 100 - 250  
T < 120°C**

**Bomba centrífuga monobloc para:**

- Doméstico
- Refrigeración
- Calefacción
- Marina

**Bomba centrífuga monobloc, basada en DIN 24255, para:**

- Refrigeración
- Riego
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Marina

**Bomba centrífuga según DIN 24255, para:**

- Tratamiento de aguas
- Riego
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Marina

**Bomba centrífuga robusta para:**

- Contra incendios
- Aire acondicionado
- Riego
- Marina
- Refrigeración

*Close coupled centrifugal pump for:*

- Domestic
- Cooling
- Heating
- Marine

*Close coupled centrifugal pump, based on DIN 24255 for:*

- Cooling
- Irrigation
- Air conditioning
- Heating
- Marine

*Centrifugal pump, based on DIN 24255 for:*

- Water treatment
- Irrigation
- Air conditioning
- Heating
- Marine

*Robust centrifugal pump, for:*

- Fire fighting
- Air conditioning
- Irrigation
- Marine
- Cooling

**Pompe centrifuge monobloc pour:**

- Domestique
- Réfrigération
- Chauffage
- Marine

**Pompe centrifuge monobloc, base DIN 24255, pour:**

- Réfrigération
- Irrigation
- Climatisation
- Chauffage
- Marine

**Pompe centrifuge, base DIN 24255, pour:**

- Traitement des eaux
- Irrigation
- Climatisation
- Chauffage
- Marine

**Pompe centrifuge robuste, pour:**

- Incendie
- Climatisation
- Irrigation
- Marine
- Réfrigération

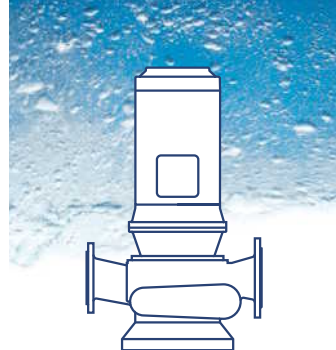






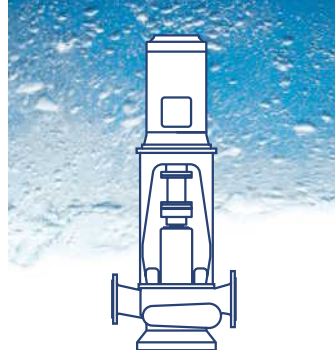
**LN**

**Q < 140 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 100 m**  
**DN 50 – 80**  
**T < 120°C**



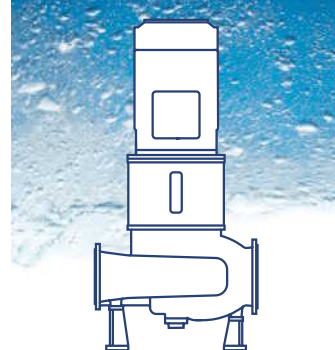
**VM**

**Q < 1000 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 130 m**  
**DN 50 – 150**  
**T < 120°C**



**CM**

**Q < 1500 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 130 m**  
**DN 50 – 250**  
**T < 120°C**



**LD**

**Q < 4000 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 60 m**  
**DN 300 - 400**  
**T < 120°C**



**Bomba centrífuga vertical monobloc IN-LINE, basada en DIN 24255, para:**

- Refrigeración
- Calefacción
- Aire acondicionado
- Marina

**Bomba centrífuga vertical monobloc IN-LINE, para:**

- Marina
- Refrigeración
- Abastecimiento de agua

**Bomba centrífuga vertical IN-LINE, con acoplamiento elástico para:**

- Marina
- Congeneración
- Refrigeración
- Aire acondicionado

**Bomba centrífuga vertical IN-LINE, rodete doble aspiración, para:**

- Marina
- Congeneración
- Refrigeración
- Aire acondicionado

2



*Vertical IN-LINE close coupled centrifugal pump, based on DIN 24255, for:*

- Cooling
- Heating
- Air conditioning
- Marine

*Vertical IN-LINE close coupled centrifugal pump, for:*

- Marine
- Cooling
- Water supply

*Vertical IN-LINE centrifugal pump, with flexible coupling for:*

- Marine
- Power plants
- Cooling
- Air conditioning

*Vertical IN-LINE centrifugal pump, double suction impeller, for:*

- Marine
- Power plants
- Cooling
- Air conditioning



**Pompe centrifuge monobloc IN-LINE, base DIN 24255, pour:**

- Refrigeration
- Chauffage
- Climatisation
- Marine

**Pompe centrifuge monobloc IN-LINE, pour:**

- Marine
- Réfrigération
- Alimentation des eaux

**Pompe centrifuge IN-LINE, avec accouplement élastique pour:**

- Marine
- Co-Generation
- Réfrigération
- Climatisation

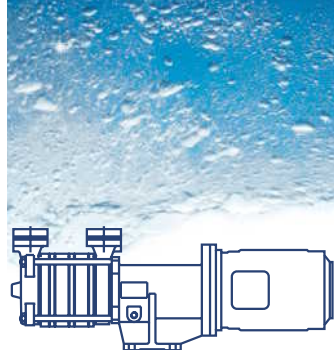
**Pompe centrifuge IN-LINE, roue double aspiration, pour:**

- Marine
- Co-Generation
- Réfrigération
- Climatisation

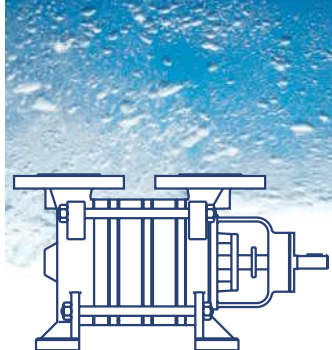




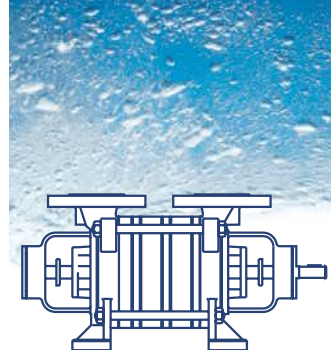
**MA**



**MO**



**BR**



**BR-RR**

**Q < 3 m<sup>3</sup>/h  
H < 60 m  
DN 1"  
T < 90°C**

**Q < 9 m<sup>3</sup>/h  
H < 225 m  
DN 1" - 1 1/2"  
T < 90°C**

**Q < 45 m<sup>3</sup>/h  
H < 225 m  
DN 25 - 65  
T < 90°C**

**Q < 45 m<sup>3</sup>/h  
H < 225 m  
DN 25 - 65  
T < 90°C**

**Bomba canal lateral autoaspirante monobloc, para:**

- Hidróforo A.D. y A.S.
- Agua caliente
- Trasiego de líquidos volátiles

**Bomba canal lateral autoaspirante multicelular, para:**

- Hidróforo A.D. y A.S.
- Agua caliente
- Trasiego de líquidos volátiles

**Bomba canal lateral autoaspirante multicelular, para:**

- Hidróforo A.D. y A.S.
- Extracción de condensados
- Trasiego de líquidos volátiles

**Bomba canal lateral autoaspirante multicelular reforzada, para:**

- Alimentación de calderas
- Extracción de condensados
- Hidróforo A.D. y A.S.
- Trasiego de líquidos volátiles

*Self-priming close coupled side channel pump, for:*

- S.W and F.W. hydrophore
- Hot water
- Volatile liquids transfer

*Self-priming multistage side channel pump, for:*

- S.W and F.W. hydrophore
- Hot water
- Volatile liquids transfer

*Self-priming multistage side channel pump, for:*

- S.W and F.W. hydrophore
- Condensate extraction
- Volatile liquids transfer

*Reinforced self-priming multistage side channel pump, for:*

- Boiler feed
- Condensate extraction
- S.W and F.W. hydrophore
- Volatile liquids transfer

**Pompe à canal latéral autoamorçante monobloc, pour:**

- Hydrophore E.D. et E.M
- Eau chaude
- Transfert liquides volatiles

**Pompe à canal latéral autoamorçante multicellulaire, pour:**

- Hydrophore E.D. et E.M
- Eau chaude
- Transfert liquides volatiles

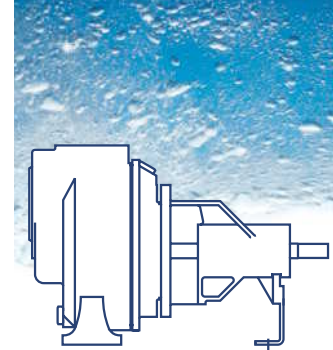
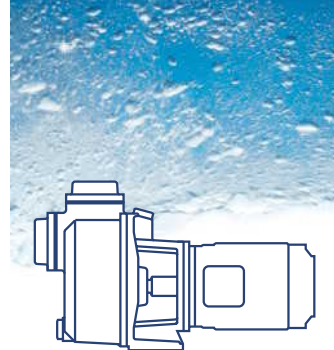
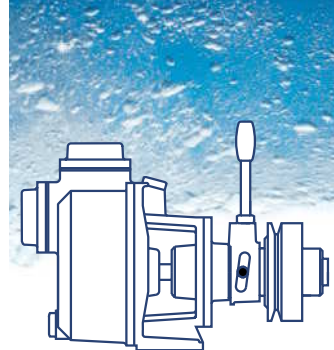
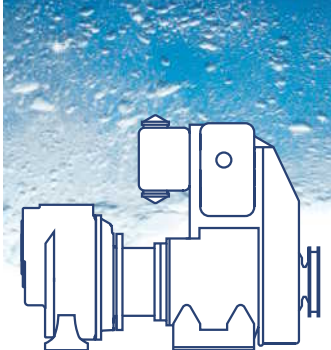
**Pompe à canal latéral autoamorçante multicellulaire, pour:**

- Hydrophore E.D. et E.M
- Extraction des condensats
- Transfert liquides volatiles

**Pompe à canal latéral autoamorçante multicellulaire renforcée, pour:**

- Alimentation de chaudières
- Extraction des condensats
- Hydrophore E.D. et E.M
- Transfert liquides volatiles





## — CA Diesel/ Gasolina —

## — CA Embrague —

## — CA Monobloc —

## — CA Eje libre —

**Q < 100 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 100 m**  
**DN 1 1/4" – 80**  
**T < 90°C**

**Q < 100 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 60 m**  
**DN 1 1/4" – 80**  
**T < 90°C**

**Q < 200 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 105 m**  
**DN 1 1/4" – 125**  
**T < 90°C**

**Q < 300 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 105 m**  
**DN 1 1/4" – 150**  
**T < 90°C**

**Bomba centrífuga auto-  
aspirante monobloc, con mo-  
tor diesel o gasolina, para:**

- Incendio emergencia
- Achique
- Bomba portátil

**Bomba centrífuga auto-  
aspirante con embrague y  
polea mecánico o magnéti-  
co, para:**

- Achique
- Agua bruta motor

**Bomba centrífuga auto-  
aspirante monobloc, para:**

- Marina
- Achique
- Aguas cargadas
- Refrigeración A.D. y A.S.

**Bomba centrífuga auto-  
aspirante, para:**

- Marina
- Refrigeración
- Riego
- Aguas cargadas

*Close coupled selfpriming cen-  
trifugal pump, with diesel or  
petrol engine, for:*

- Emergency fire
- Drainage
- Portable pump

*Selfpriming centrifugal  
pump, with mechanical or  
magnetic clutch, for:*

- Drainage
- Engine raw water

*Close coupled selfpriming  
centrifugal pump, for:*

- Marine
- Drainage
- Dirty waters
- S.W and F.W. cooling

*Selfpriming centrifugal  
pump, for:*

- Marine
- Cooling
- Irrigation
- Dirty waters

**Pompe centrifuge auto-  
amorçante monobloc, avec mo-  
teur diesel ou essence, pour:**

- Secours incendie
- Asséchement
- Pompe portable

**Pompe centrifuge auto-  
amorçante, avec embrayage  
et poulie mécanique ou mag-  
nétique, pour:**

- Asséchement
- Eau brute moteur

**Pompe centrifuge auto-  
amorçante monobloc, pour:**

- Marine
- Asséchement
- Eaux usées
- Réfrigération E.D. et E.M

**Pompe centrifuge auto-  
amorçante, pour:**

- Marine
- Réfrigération
- Irrigation
- Eaux usées

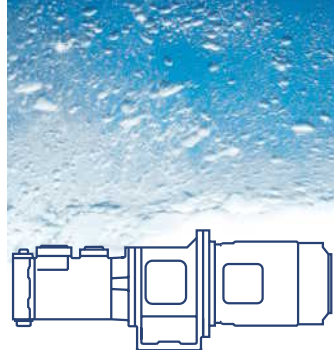






## BT-MB

**Q < 10 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 5 Bar**  
**DN 1" - 1 1/2"**  
**T < 100°C**



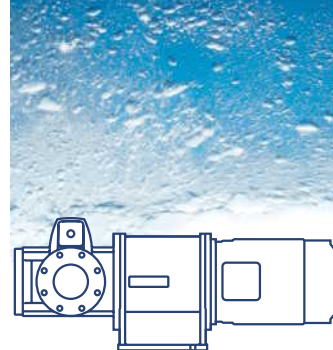
## BT-HM

**Q < 10 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 16 Bar**  
**DN 1" - 1 1/2"**  
**T < 160°C**



## BT-IL

**Q < 35 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 16 Bar**  
**DN 50 - 100**  
**T < 160°C**



## BT-LH

**Q < 190 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 12 Bar**  
**DN 125 - 150**  
**T < 160°C**



**Bomba de tornillos mono-**  
**bloc, autoaspirante, para:**

- Trasiego gasoil, diesel y fuel
- Trasiego aceite lubricante



**Bomba de tornillos, auto-**  
**aspirante, para:**

- Líquidos lubricantes
- Aceites lubricantes
- Alimentación y trasiego gasoil, diesel y fuel



**Bomba de tornillos, auto-**  
**aspirante, para:**

- Líquidos lubricantes
- Aceites lubricantes
- Alimentación y trasiego gasoil, diesel y fuel



**Bomba de tornillos, auto-**  
**aspirante, para:**

- Líquidos lubricantes
- Aceites lubricantes
- Alimentación y trasiego gasoil, diesel y fuel



*Close coupled screw pump,*  
*selfpriming, for:*

- Gasoil, diesel and fuel transfer
- Lub oil transfer



*Screw pump, selfpriming,*  
*for:*

- Lubricant media
- Lub oil
- Gasoil, diesel and fuel transfer and feed



*Screw pump, selfpriming,*  
*for:*

- Lubricant media
- Lub oil
- Gasoil, diesel and fuel transfer and feed



*Screw pump, selfpriming,*  
*for:*

- Lubricant media
- Lub oil
- Gasoil, diesel and fuel transfer and feed



**Pompe à vis monobloc, auto-**  
**amorçante, pour:**

- Transfert de gasoil, diesel et fuel
- Transfert d'huile



**Pompe à vis, autoamorçante,**  
**pour:**

- Liquides lubrifiants
- Huile
- Transfert et alimentation de gasoil, diesel et fuel



**Pompe à vis, autoamorçante,**  
**pour:**

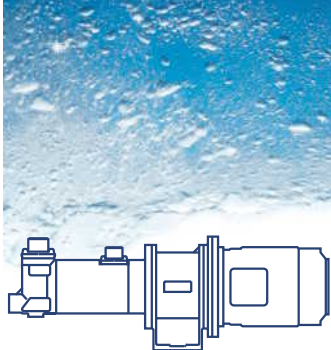
- Liquides lubrifiants
- Huile
- Transfert et alimentation de gasoil, diesel et fuel



**Pompe à vis, autoamorçante,**  
**pour:**

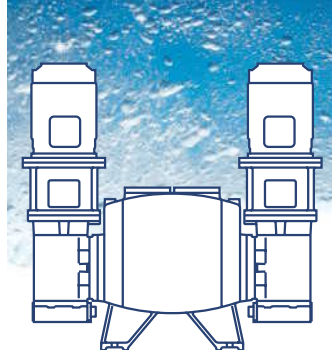
- Liquides lubrifiants
- Huile
- Transfert et alimentation de gasoil, diesel et fuel





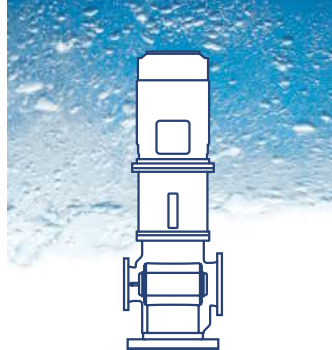
## BT-HH

**Q < 30 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 50 Bar**  
**DN 25 - 65**  
**T < 100°C**



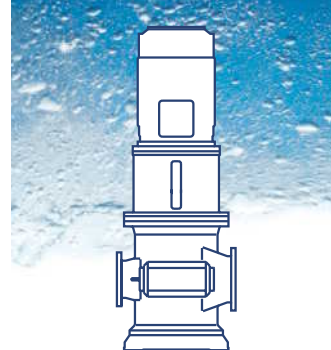
## BLOC

**Q < 10 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 16 Bar**  
**DN 1" - 1 1/2"**  
**T < 160°C**



## BT-LV

**Q < 190 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 12 Bar**  
**DN 125 - 150**  
**T < 160°C**



## BT-DF/DG

**Q < 450 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 12 Bar**  
**DN 200 - 250**  
**T < 100°C**

**Bomba de tornillos, de alta presión, autoaspirante, para:**

- Lubricación reductora
- Alimentación diesel y fuel a quemador
- Hidráulica de baja presión
- Maquina herramienta

**Modulos compactos de bombeo, incluyendo bombas, filtros y válvulas, para:**

- Líquidos lubricantes
- Equipos booster

**Bomba de tornillos, autoaspirante, para:**

- Líquidos lubricantes
- Aceites lubricantes
- Alimentación y trasiego gasoil, diesel y fuel

**Bomba de tornillos, autoaspirante, para:**

- Líquidos lubricantes
- Aceites lubricantes
- Alimentación y trasiego gasoil, diesel y fuel

*Screw pump, high pressure, selfpriming, for:*

- Gear box lubrication
- Diesel and fuel burner feed
- Low pressure hydraulic
- Machine tool

*Compact pumping modules, including pumps, filters and valves, for:*

- Lubricant media
- Booster units

*Screw pump, selfpriming, for:*

- Lubricant media
- Lub oil
- Gasoil, diesel and fuel transfer and feed

*Screw pump, selfpriming, for:*

- Lubricant media
- Lub oil
- Gasoil, diesel and fuel transfer and feed

**Pompe à vis, haute pression, autoamorçante, pour:**

- Lubrification reducteur
- Alimentation diesel et fuel au brûleur
- Hydraulique de basse pression
- Machine outils

**Modules compact de pompage, incluant des pompes, filtres et vannes, pour:**

- Liquides lubrifiants
- Equipement booster

**Pompe à vis, autoamorçante, pour:**

- Liquides lubrifiants
- Huile
- Transfert et alimentation de gasoil, diesel et fuel

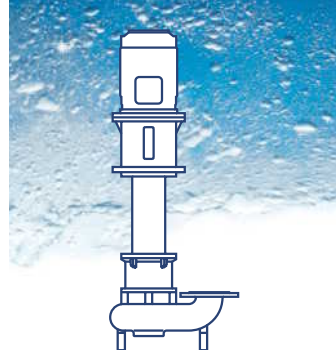
**Pompe à vis, autoamorçante, pour:**

- Liquides lubrifiants
- Huile
- Transfert et alimentation de gasoil, diesel et fuel



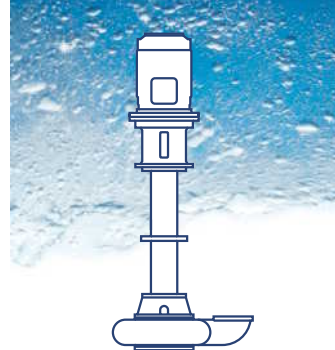
## VRX Monobloc

$Q < 500 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H < 30 \text{ m}$   
 DN 50 - 200  
 $T < 100^\circ\text{C}$



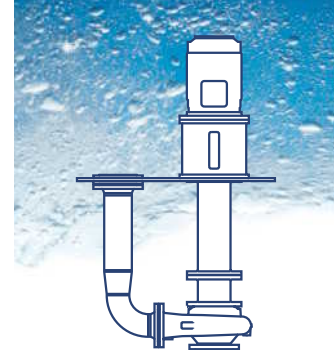
## VRX

$Q < 500 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H < 30 \text{ m}$   
 DN 50 - 200  
 $T < 100^\circ\text{C}$



## BTR

$Q < 80 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H < 10 \text{ m}$   
 DN 125  
 $T < 80^\circ\text{C}$



## VSS

$Q < 700 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H < 100 \text{ m}$   
 DN 32 - 150  
 $T < 100^\circ\text{C}$



**Bomba vortex horizontal monobloc, para:**

- Aguas residuales
- Desperdicios de pescado
- Industria y medio ambiente

**Bomba vortex vertical, con motor exterior, columna y bomba sumergida, para:**

- Aguas residuales
- Desperdicios de pescado
- Industria y medio ambiente

**Bomba trituradora vertical, con motor exterior, columna y bomba sumergida, para:**

- Residuos de pescado
- Trituración 8000 - 9000 kg/h
- Cortes de 30 mm máx.

**Bomba centrífuga, según DIN 24255, con motor exterior, columna y bomba sumergida, para:**

- Aguas cargadas
- Industria
- Aceite lubricante



*Vortex close coupled horizontal pump, for:*

- Dirty waters
- Fish waste
- Industry and environment

*Vortex vertical pump, outside motor, column and submersed pump, for:*

- Dirty waters
- Fish waste
- Industry and environment

*Grinding vertical pump, outside motor, column and submersed pump, for:*

- Fish waste
- 8000 - 9000 kg/h grinding
- 30 mm max. parts

*Centrifugal pump, based on DIN 24255, outside motor, column and submersed pump, for:*

- Dirty waters
- Industry
- Lubricating oil



**Pompe vortex horizontale monobloc, pour:**

- Eaux noires
- Dechets de poisson
- Industrie et environnement

**Pompe vertical vortex, avec moteur extérieur, colonne et pompe immergée, pour:**

- Eaux noires
- Dechets de poisson
- Industrie et environnement

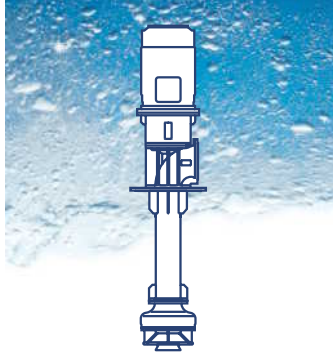
**Pompe de broyage verticale, avec moteur extérieur, colonne et pompe immergée, pour:**

- Dechets de poisson
- Broyage 8000 - 9000 kg/h
- Coupes de 30 mm max.

**Pompe centrifuge, base DIN 24255, avec moteur extérieur, colonne et pompe immergée, pour:**

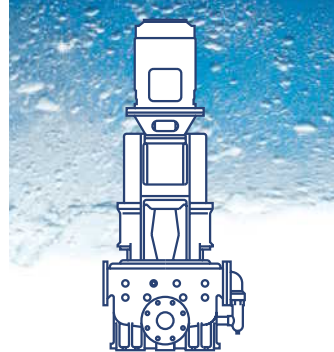
- Eaux usées
- Industrie
- Huile





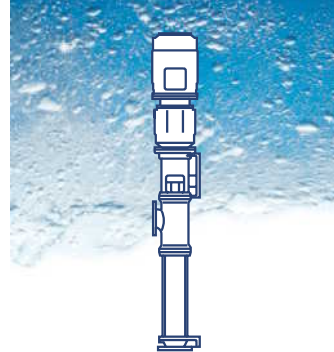
## VST

**Q < 1600 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 6 Bar**  
**DN 100 - 150**  
**T < 100°C**



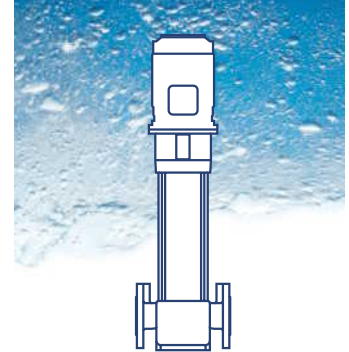
## RKZ

**Q - 300 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 10 Bar**  
**DN 80 - 200**  
**T < 80°C**



## KL-KB

**Q < 120 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 4 Bar (8 Bar)**  
**DN 80 - 200**  
**T < 80°C**



## C

**Q < 40 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 200 m**  
**DN 1" - 3"**  
**T < 120°C**

**Bomba centrífuga vertical para aceite lubricante, según DIN 24255, con motor exterior, columna y bomba sumergida, para:**

- Lubricación motor principal

**Bomba de pistón, para:**

- Marina
- Sentinas
- Incendio

**Bomba de husillo excentrico, para:**

- Marina
- Sentinas

**Bomba centrífuga multicelular IN-LINE vertical, para:**

- Doméstico
- Refrigeración
- Industria

*Vertical Centrifugal pump for lube oil, based on DIN 24255, outside motor, column and submersed pump, for:*

- Main engine lubrication

*Piston pump, for:*

- Marine
- Bilge
- Fire

*Eccentric screw pump, for:*

- Marine
- Bilge

*IN-LINE multistage centrifugal pump for:*

- Domestic
- Cooling
- Industry

**Pompe centrifuge verticale, base DIN 24255, avec moteur extérieur, colonne et pompe immergée, pour:**

- Lubrification moteur principal

**Pompe à piston, pour:**

- Marine
- Cale
- Incendie

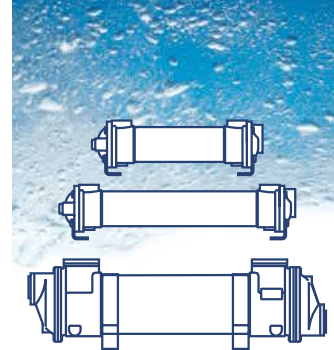
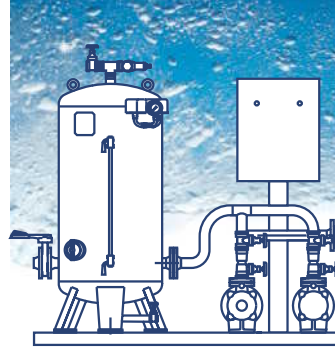
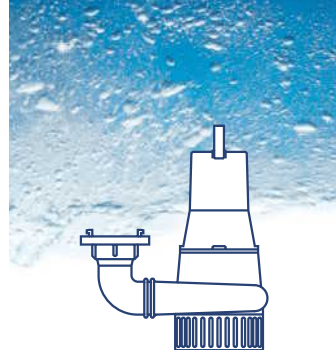
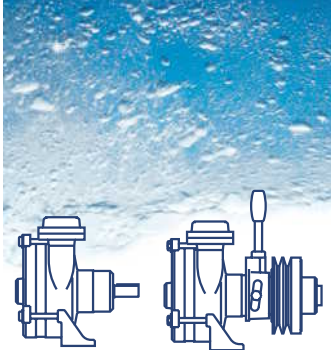
**Pompe à vis excentrique, pour:**

- Marine
- Cale

**Pompe centrifuge multicellulaire IN-LINE, pour:**

- Domestique
- Réfrigération
- Industrie





## RA

## Sumergibles

## Equipos Presión

## Intercambiadores

**Q < 18 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 6 Bar**  
**DN 1" - 1 1/2"**  
**T < 90°C**

**Q < 400 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 3 Bar**  
**DN 1" - 200**  
**T < 50°C**

**Q < 25 / 150 m<sup>3</sup>/h**  
**H < 10 Bar**  
**DN 1" - 50 (80)**  
**T < 90°C**

**S < 40 m<sup>2</sup>**  
**H < 16 Bar**  
**DN 1" - 100 (150)**  
**T < 150°C**

Bomba de canal lateral auto-  
 aspirante, en eje libre o con  
 embrague y polea, para:

- Refrigeración A.S. Motor
- Sentinas
- Baldeo

Bomba sumergible portátil,  
 para:

- Construcción
- Garages
- Marina

Equipos hidroneumáticos  
 de agua a presión, para:

- Viviendas
- Grandes edificios
- Marina
- Hidróforos

Intercambiadores tubulares  
 de agua y aceite, para:

- Refrigeración A.D. y  
 aceite motor
- Refrigeración aceite  
 hidráulico
- Calentadores de agua y  
 combustible por vapor

*Side channel selfpriming  
 pump, bare shaft or with  
 clutch and pulley, for:*

- Engine S. W. cooling
- Bilge
- Deck wash

*Submersible portable pump,  
 for:*

- Construction
- Garages
- Marine

*Pressure sets, for:*

- Houses
- High buildings
- Marine
- Hydrophores

*Tubular heat exchangers,  
 for:*

- Engine F. W. and oil  
 cooling
- Hydraulic oil cooling
- Water and fuel steam  
 heaters

Pompe à canal latéral au-  
 toamorçante, arbre nu ou  
 avec embrayage et poulie,  
 pour:

- Réfrigération E.M. moteur
- Cale
- Lavage

Pompe submersible porta-  
 ble, pour:

- Construction
- Garages
- Marine

Equipement de pression,  
 pour:

- Maisons
- Hauts édifices
- Marine
- Hydrophores

Echangeurs de chaleur tubu-  
 laires, pour:

- Réfrigération E.D. et hui-  
 le moteur
- Réfrigération huile  
 hydraulique
- Réchauffeurs d'eau et  
 combustible par vapeur







pumps

bombas

**azcue**

pumpen

pompes





EFFICIENT WORK



# HCH-HCT-HFT/EW



MOTORES  
TRIFÁSICOS DE  
ALTA Eficiencia IE3



**VARIADOR VELOCIDAD**  
VSD: Variador electrónico de velocidad.  
VSD1/A-RFM  
VSD3/A-RFT  
Suministro según pedido

**CONTROL**  
Suministro como accesorio opcional

**ALIMENTACIÓN**  
VSD1/A-RFM:  
220-240 V 50/60 Hz  
VSD3/A-RFT:  
380-415 V 50/60 Hz

**Ventiladores helicoidales murales o tubulares, equipados con motor asíncrono de alta eficiencia IE3 regulable electrónicamente.**

Ventilador:

- Dirección aire motor-hélice.
- Hélices en versión PL en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio y versión AL en fundición de aluminio.
- HCH: Aro soporte mural en chapa de acero con una sola brida.
- HFT: Carcasa corta en chapa de acero con doble brida y prensaestopas para entrada cable.
- HCT: Carcasa larga tubular en chapa de acero con caja de bornes exterior.

Motor y variador electrónico :

- Motores eficiencia IE3, regulables electrónicamente.
- Se suministrará el variador de velocidad VSD según pedido.
- Variador electrónico de velocidad (VSD) regulable mediante señal externa de 0-10 V.
- Se recomienda instalar el variador electrónico de velocidad (VSD) fuera de la zona de trabajo.
- La señal externa puede subministrarse a través de un control manual o automático con salida 0-10 V.
- Se recomienda instalar filtros senoidales entre ventilador y variador electrónico de velocidad (VSD), cuando haya gran distancia entre ellos.
- Variador electrónico de velocidad (VSD), disponibles con entrada monofásica 220-240 V 50/60 Hz hasta 3cv (Tipo VSD1/A-RFM) o con entrada trifásica 380-415 V 50/60 Hz (Tipo VSD3/A-RFT).

- Por defecto se entrega el variador electrónico de velocidad (VSD) programado a velocidad constante.
- Temperatura de trabajo ventilador: -25 °C +60 °C.
- Temperatura de trabajo (VSD): -25 °C +50 °C.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55.
- Trifásicos 230/400 V 50 Hz (hasta 5,5 CV) y 400/690 V 50 Hz.(potencias superiores a 5,5 CV)

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Dirección aire hélice-motor
- Hélices reversible 100%

## Código de pedido del ventilador

**HCH/EW — 71 — 4T — 1.5 / AL — IE3**

HCH/EW: Ventiladores helicoidales murales de alta eficiencia, "Efficient work"

Diámetro hélice en cm.

Velocidad máxima:  
4T=1450 rpm  
6T=950 rpm

Potencia motor en CV

AL: Hélice de aluminio  
PL: Hélice de plástico

Motores trifásicos IE3

HFT/EW: Ventiladores helicoidales con doble brida de alta eficiencia, "Efficient work"

HCT/EW: Ventiladores helicoidales tubulares de alta eficiencia, "Efficient work"

## Código de pedido con suministro de variador electrónico (VSD) incluido

**HCH/EW — 71 — 4T — 1.5 / AL — IE3 — VSD1 — D**

HCH/EW: Ventiladores helicoidales murales de alta eficiencia, "Efficient work"

Diámetro hélice en cm.

Velocidad máxima:  
4T=1450 rpm  
6T=950 rpm

Potencia motor en CV

AL: Hélice de aluminio  
PL: Hélice de plástico

Motores trifásicos IE3

VSD1: Equipados con VSD1/A-RFM, variador electrónico de velocidad, alimentación monofásica 220-240 V 50/60 Hz.

VSD3: Equipados con VSD3/A-RFT, variador electrónico de velocidad, alimentación trifásica 380-415 V 50/60 Hz.

D: Versión estándar, suministro del VSD programado a velocidad constante.  
P: Suministro con VSD programado para control de presión y transmisor de presión Si-Presión  
K: Suministro con VSD programado e integrado en una caja BOXPRES KIT para el control de presión. Disponible sólo para ventiladores con potencia motor inferior o igual a 2,2 kW.



## Características técnicas

Modelo				Velocidad min/max (r/min)	VSD monofásico 230 V 50/60 Hz		VSD trifásico 400 V 50/60 Hz		Intensidad máxima Motor 50 Hz 230V 400V 690V (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo min/max (m³/h)	Nivel presión sonora min/max dB(A)	Peso aprox. (Kg)			
					Intensidad máxima entrada (A)	Modelo VSD	Intensidad máxima entrada (A)	Modelo VSD						HCH	HFT	HCT	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	56-4T-0.75	570/1420	6,33	VSD1/A-RFM-1	1,76	VSD3/A-RFT-1	2,17	1,25	- 0,55	4435 / 11050	52 / 72	21	23	33	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	56-4T-1	570/1420	8,32	VSD1/A-RFM-1	2,31	VSD3/A-RFT-1	2,82	1,62	- 0,75	5200 / 12950	53 / 73	22	24	34	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	56-4T-1.5	580/1455	11,87	VSD1/A-RFM-2	3,30	VSD3/A-RFT-2	4,07	2,34	- 1,10	5580 / 14000	54 / 74	26	28	37	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	63-4T-1	570/1420	8,32	VSD1/A-RFM-1	2,31	VSD3/A-RFT-1	2,82	1,62	- 0,75	5680 / 14150	53 / 73	27	29	42	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	63-4T-1.5	580/1455	11,87	VSD1/A-RFM-2	3,30	VSD3/A-RFT-2	4,07	2,34	- 1,10	6775 / 17000	54 / 74	30	32	45	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	63-4T-2	575/1440	15,78	VSD1/A-RFM-2	4,38	VSD3/A-RFT-2	5,41	3,11	- 1,50	7545 / 18900	55 / 75	33	35	48	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	63-4T-3	575/1435	23,15	VSD1/A-RFM-3	6,43	VSD3/A-RFT-3	7,93	4,56	- 2,20	8855 / 22100	56 / 76	41	43	57	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-4T-1.5	580/1455	11,87	VSD1/A-RFM-2	3,30	VSD3/A-RFT-2	4,07	2,34	- 1,10	7935 / 19900	58 / 78	33	35	52	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-4T-2	575/1440	15,78	VSD1/A-RFM-2	4,38	VSD3/A-RFT-2	5,41	3,11	- 1,50	8385 / 21000	59 / 79	36	38	55	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-4T-3	575/1435	23,15	VSD1/A-RFM-3	6,43	VSD3/A-RFT-3	7,93	4,56	- 2,20	9615 / 24000	61 / 81	45	47	64	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-4T-4	575/1440	-	-	7,20	VSD3/A-RFT-5.5	10,70	6,15	- 3,00	11740 / 29400	62 / 82	47	49	66	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-6T-0.75	370/925	6,90	VSD1/A-RFM-1	1,92	VSD3/A-RFT-1	2,52	1,45	- 0,55	6000 / 15000	47 / 67	29	31	49	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-6T-1	375/940	8,69	VSD1/A-RFM-1	2,41	VSD3/A-RFT-1	3,36	1,93	- 0,75	6860 / 17200	48 / 68	36	38	55	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	71-6T-1.5	380/945	12,43	VSD1/A-RFM-2	3,45	VSD3/A-RFT-2	4,68	2,69	- 1,10	8485 / 21100	49 / 69	38	40	57	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-4T-3	575/1435	23,15	VSD1/A-RFM-3	6,43	VSD3/A-RFT-3	7,93	4,56	- 2,20	11820 / 29500	62 / 82	53	55	72	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-4T-4	575/1440	-	-	7,20	VSD3/A-RFT-5.5	10,70	6,15	- 3,00	14775 / 37000	63 / 83	55	57	74	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-4T-5.5	580/1450	-	-	9,48	VSD3/A-RFT-5.5	13,90	8,00	- 4,00	16200 / 40500	64 / 84	60	62	79	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-6T-1	375/940	8,69	VSD1/A-RFM-1	2,41	VSD3/A-RFT-1	3,36	1,93	- 0,75	9175 / 23000	51 / 71	44	46	64	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-6T-1.5	380/945	12,43	VSD1/A-RFM-2	3,45	VSD3/A-RFT-2	4,68	2,69	- 1,10	10455 / 26000	52 / 72	46	48	66	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-6T-2	380/950	16,64	VSD1/A-RFM-2	4,62	VSD3/A-RFT-2	6,43	3,70	- 1,50	11880 / 29700	53 / 73	52	54	71	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	80-6T-3	380/950	23,83	VSD1/A-RFM-3	6,62	VSD3/A-RFT-3	9,08	5,22	- 2,20	13400 / 33500	54 / 74	57	59	76	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-4T-4	575/1440	-	-	7,20	VSD3/A-RFT-5.5	10,70	6,15	- 3,00	15970 / 40000	67 / 87	62	66	90	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-4T-5.5	580/1450	-	-	9,48	VSD3/A-RFT-5.5	13,90	8,00	- 4,00	18600 / 46500	69 / 89	67	71	95	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-4T-7.5	585/1465	-	-	12,81	VSD3/A-RFT-7.5	-	10,30	5,97	5,50	20365 / 51000	71 / 91	83	87	109
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-4T-10	585/1465	-	-	17,32	VSD3/A-RFT-10	-	13,90	8,06	7,50	21845 / 54700	72 / 92	94	98	120
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-6T-2	380/950	16,64	VSD1/A-RFM-2	4,62	VSD3/A-RFT-2	6,43	3,70	- 1,50	13720 / 34300	57 / 77	59	63	87	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-6T-3	380/950	23,83	VSD1/A-RFM-3	6,62	VSD3/A-RFT-3	9,08	5,22	- 2,20	15200 / 38000	58 / 78	64	68	92	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	90-6T-4	390/970	-	-	7,39	VSD3/A-RFT-5.5	12,00	6,91	- 3,00	17045 / 42400	59 / 79	88	92	114	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-4T-7.5	585/1465	-	-	12,81	VSD3/A-RFT-7.5	-	10,30	5,97	5,50	21565 / 54000	72 / 92	91	95	121
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-4T-10	585/1465	-	-	17,32	VSD3/A-RFT-10	-	13,90	8,06	7,50	25155 / 63000	73 / 93	102	106	131
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-4T-15	590/1470	-	-	25,10	VSD3/A-RFT-15	-	21,40	12,40	11,00	27295 / 68000	74 / 94	125	129	160
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-4T-20	585/1465	-	-	34,41	VSD3/A-RFT-20	-	28,70	16,60	15,00	28750 / 72000	75 / 95	144	148	179
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-6T-3	380/950	23,83	VSD1/A-RFM-3	6,62	VSD3/A-RFT-3	9,08	5,22	- 2,20	17200 / 43000	62 / 82	72	76	103	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-6T-4	390/970	-	-	7,39	VSD3/A-RFT-5.5	12,00	6,91	- 3,00	18895 / 47000	63 / 83	96	100	125	
HCH/EW	HFT/EW	HCT/EW	100-6T-5.5	385/960	-	-	9,74	VSD3/A-RFT-5.5	15,60	8,99	- 4,00	21255 / 53000	64 / 84	104	108	133	

## Características acústicas a velocidad máxima

Los valores indicados, se determinan mediante medidas de nivel de presión y potencia sonora en dB(A) obtenidas en campo libre a una distancia equivalente a dos veces la envergadura del ventilador más el diámetro de la hélice, con un mínimo de 1,5 mts.

**Espectro de potencia sonora Lw(A) en dB(A) banda de frecuencia en [Hz]**

Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
56-4T-0.75	47	67	75	80	82	79	72	61	80-6T-1.5	49	69	77	82	84	81	74	63
56-4T-1	48	68	76	81	83	80	73	62	80-6T-2	50	70	78	83	85	82	75	64
56-4T-1.5	49	69	77	82	84	81	74	63	80-6T-3	51	71	79	84	86	83	76	65
63-4T-1	50	70	78	83	85	82	75	64	90-4T-4	65	86	93	98	101	97	90	79
63-4T-1.5	51	71	79	84	86	83	76	65	90-4T-5.5	67	88	95	100	103	99	92	81
63-4T-2	52	72	80	85	87	84	77	66	90-4T-7.5	69	90	97	102	105	101	94	83
63-4T-3	53	73	81	86	88	85	78	67	90-4T-10	70	91	98	103	106	102	95	84
71-4T-1.5	55	75	83	88	90	87	80	69	90-6T-2	55	76	83	88	91	87	80	69
71-4T-2	56	76	84	89	91	88	81	70	90-6T-3	56	77	84	89	92	88	81	70
71-4T-3	58	78	86	91	93	90	83	72	90-6T-4	57	78	85	90	93	89	82	71
71-4T-4	59	79	87	92	94	91	84	73	100-4T-7.5	72	92	100	105	107	104	97	86
71-6T-0.75	44	64	72	77	79	76	69	58	100-4T-10	73	93	101	106	108	105	98	87
71-6T-1	45	65	73	78	80	77	70	59	100-4T-15	74	94	102	107	109	106	99	88
71-6T-1.5	46	66	74	79	81	78	71	60	100-4T-20	75	95	103	108	110	107	100	89
80-4T-3	59	79	87	92	94	91	84	73	100-6T-3	62	82	90	95	97	94	87	76
80-4T-4	60	80	88	93	95	92	85	74	100-6T-4	63	83	91	96	98	95	88	77
80-4T-5.5	61	81	89	94	96	93	86	75	100-6T-5.5	64	84	92	97	99	96	89	78
80-6T-1	48	68	76	81	83	80	73	62									

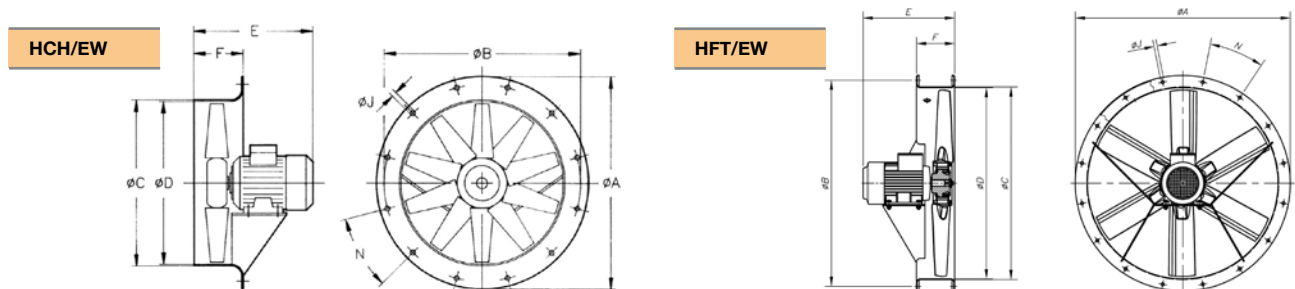




**EFFICIENT WORK**

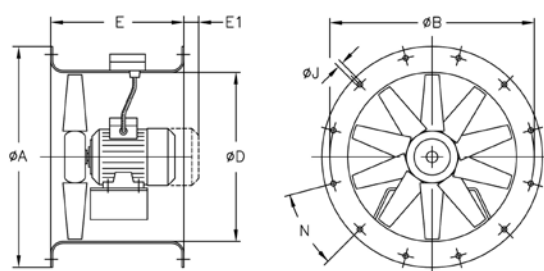


## Dimensiones mm



Modelo	ØA	ØB	ØC	ØD	E											F	ØJ	N
					0,75	1	1,5	2	3	4	5,5	7,5	10	15	20			
HCH/EW-56-4T	660	620	564	560	310	310	330									120	12	12 X 30°
HCH/EW-63-4T	730	690	645	640		325	325	355	405							150	12	12 X 30°
HCH/EW-71-4T	810	770	715	710			330	350	415	415						150	12	16 X 22°30'
HCH/EW-71-6T	810	770	715	710	315	330	350									150	12	16 X 22°30'
HCH/EW-80-4T	900	860	805	800					425	425	445					180	12	16 X 22°30'
HCH/EW-80-6T	900	860	805	800		355	375	425	445							180	12	16 X 22°30'
HCH/EW-90-4T	1015	970	906	900						425	430	465	465			180	15	16 X 22°30'
HCH/EW-90-6T	1015	970	906	900				425	430	465						180	15	16 X 22°30'
HCH/EW-100-4T	1115	1070	1006	1000								480	480	590	590	200	15	16 X 22°30'
HCH/EW-100-6T	1115	1070	1006	1000					440	480	480					200	15	16 X 22°30'
HFT/EW-56-4T	660	620	564	560	344	344	376									120	12	12 X 30°
HFT/EW-56-6T	660	620	564	560												120	12	12 X 30°
HFT/EW-63-4T	730	690	645	640		325	398	398	430	430						120	12	12 X 30°
HFT/EW-63-6T	730	690	645	640	325	398										120	12	12 X 30°
HFT/EW-71-4T	810	770	715	710			400	400	440	440						150	12	16 X 22°30'
HFT/EW-71-6T	810	770	715	710	325	400	400									150	12	16 X 22°30'
HFT/EW-80-4T	900	860	805	800					425	425	445					180	12	16 X 22°30'
HFT/EW-80-6T	900	860	805	800		390	390	425	445							180	12	16 X 22°30'
HFT/EW-90-4T	1015	970	906	900						430	440	470	470			180	15	16 X 22°30'
HFT/EW-90-6T	1015	970	906	900				430	440	470						180	15	16 X 22°30'
HFT/EW-100-4T	1115	1070	1006	1000								485	485	590	590	200	15	16 X 22°30'
HFT/EW-100-6T	1115	1070	1006	1000					440	485	485					200	15	16 X 22°30'

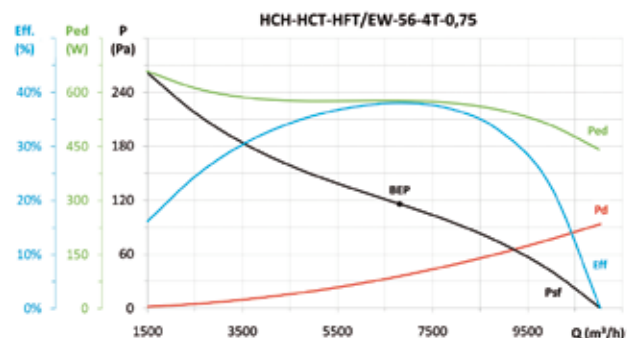
## HCT/EW



Modelo	ØA	ØB	ØD	E	ØJ	N
HCT/EW-56	660	620	560	400	12	12x30°
HCT/EW-63	730	690	640	430	12	12x30°
HCT/EW-71	810	770	710	500	12	16x22°30'
HCT/EW-80	900	860	800	500	12	16x22°30'
HCT/EW-90	1015	970	900	500	15	16x22°30'
HCT/EW-100	1115	1070	1000	550	15	16x22°30'
HCT/EW-100-4T-15	1115	1070	1000	650	15	16x22°30'
HCT/EW-100-4T-20	1115	1070	1000	650	15	16x22°30'

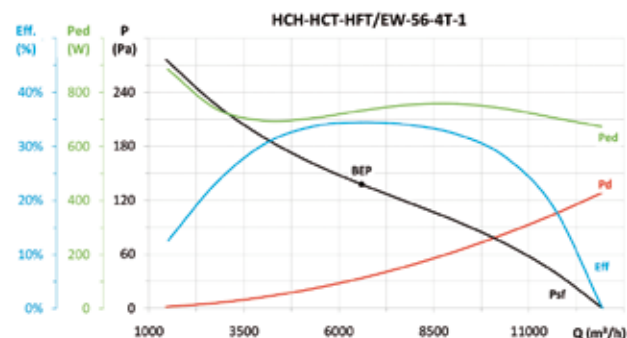


## Erp. Curvas características y datos ErP



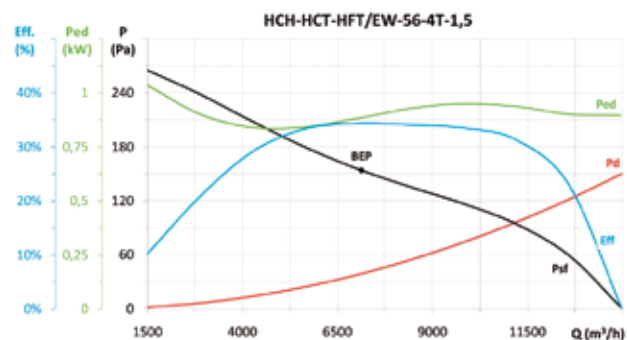
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,10	41,9%	49,8	0,577	6808	115,8	1437	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



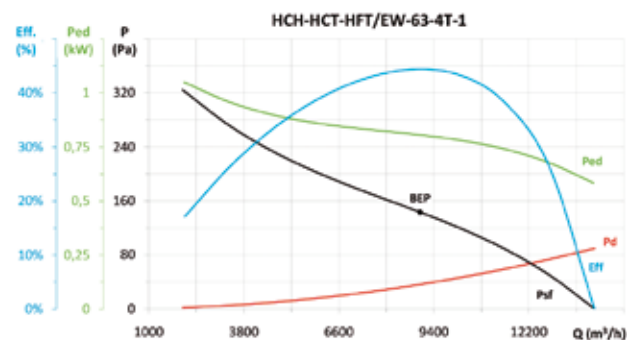
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,10	37,8%	45,0	0,732	6599	137,7	1436	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



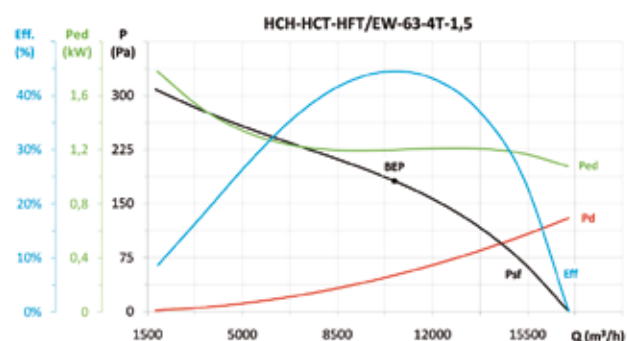
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,09	37,5%	44,2	0,886	7130	153,9	1453	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



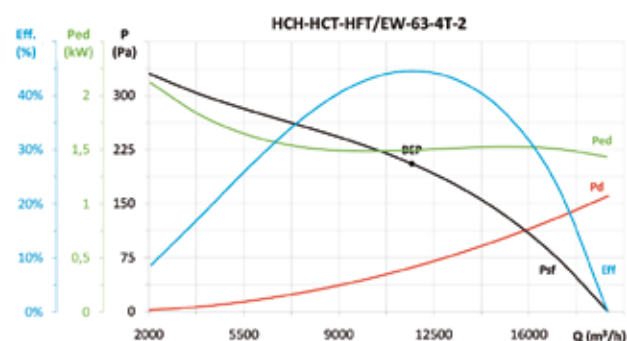
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,09	48,5%	55,5	0,806	8989	143,3	1433	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



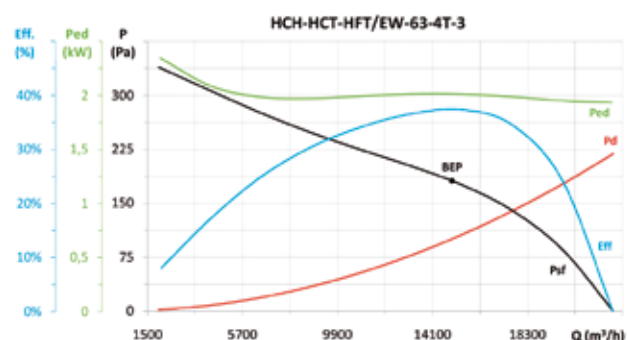
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	48,1%	54,0	1,200	10593	181,5	1460	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



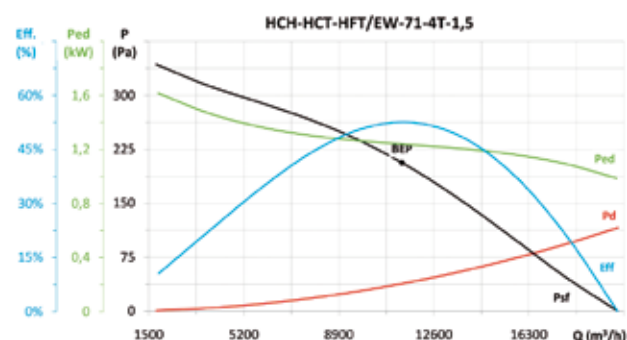
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	47,9%	53,1	1,496	11688	205,4	1451	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,07	39,8%	44,3	2,014	14963	181,1	1448	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	56,8%	62,5	1,239	11355	206,4	1459	NECESSARY

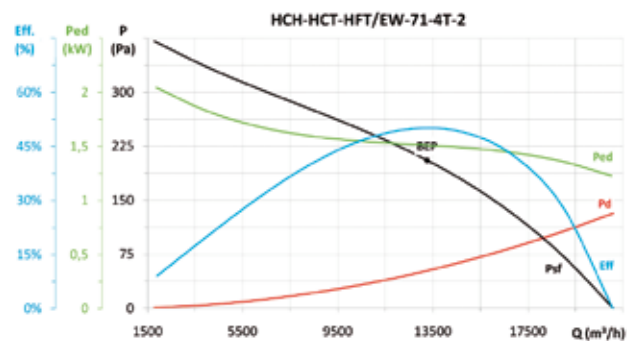
\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



EFFICIENT WORK

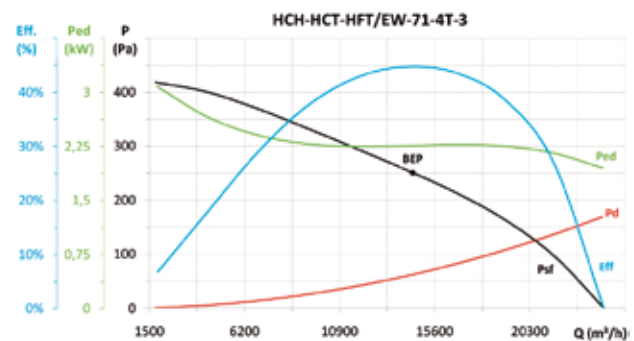


## Erp. Curvas características y datos ErP



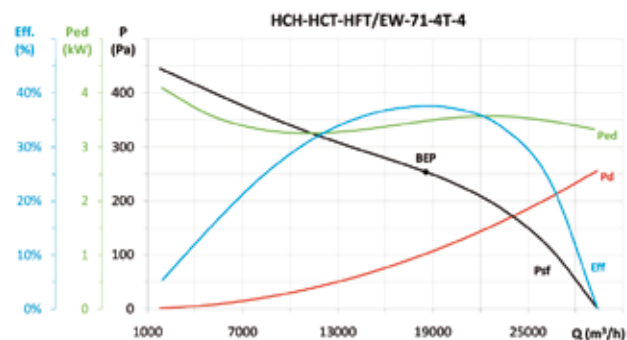
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	53,8%	59,0	1,511	13256	205,5	1450	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



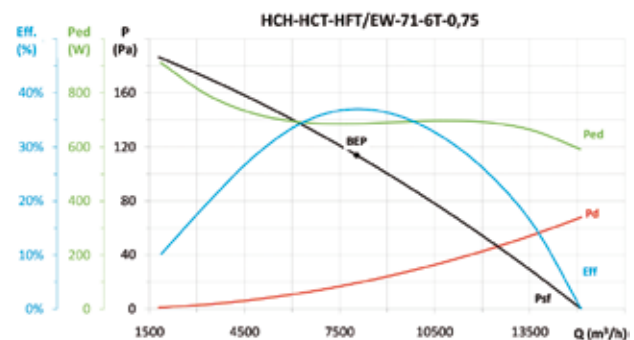
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,06	47,6%	51,7	2,260	14513	251,0	1445	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



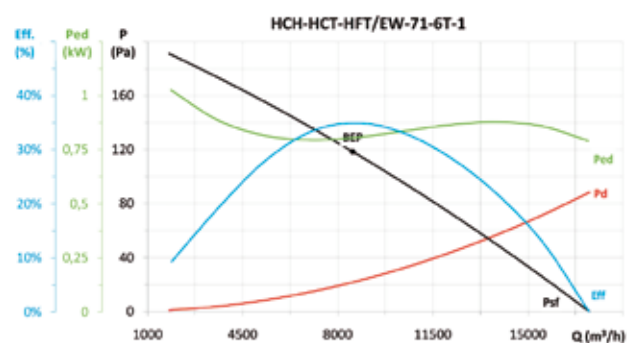
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,05	39,4%	42,3	3,482	18556	253,6	1442	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



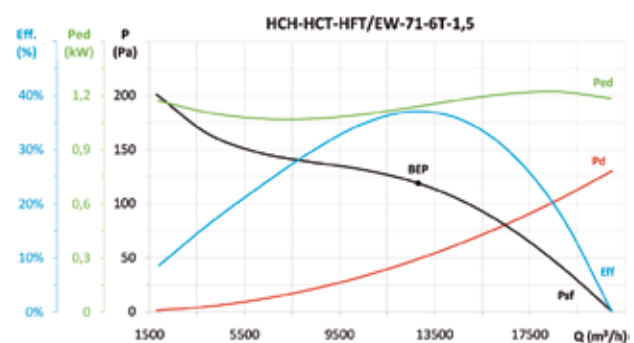
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,10	40,7%	48,0	0,686	8036	113,8	935	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



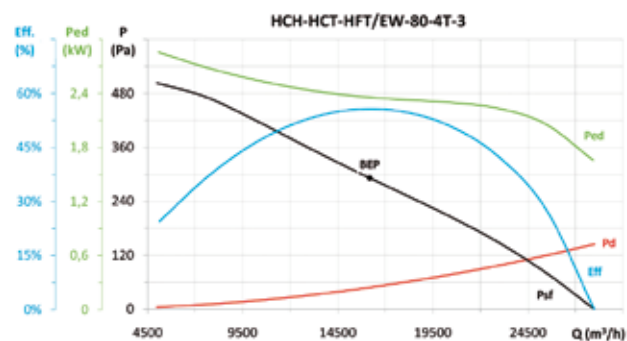
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,09	38,2%	45,1	0,805	8550	118,5	952	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



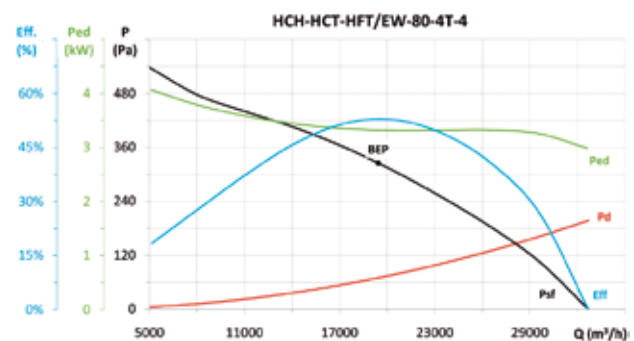
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	40,2%	46,1	1,140	12806	118,8	956	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,06	59,1%	63,0	2,355	16178	291,7	1442	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

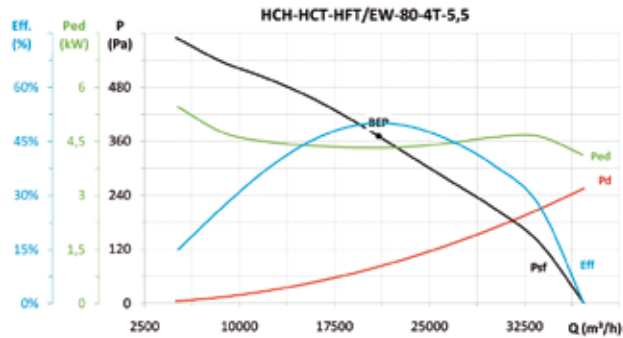


MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,05	55,5%	58,6	3,319	19442	324,8	1445	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

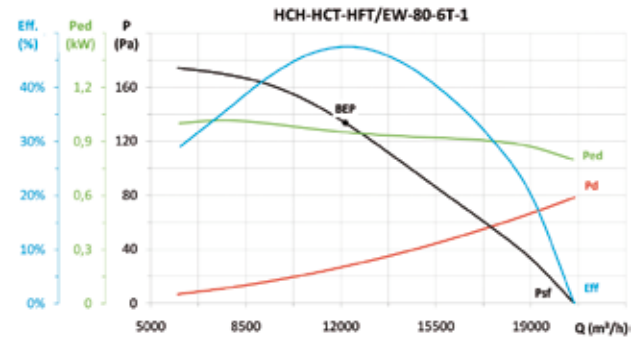


## Erp. Curvas características y datos ErP



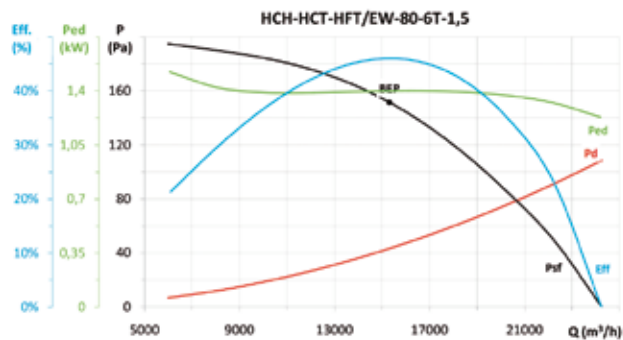
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,04	52,2%	54,5	4,324	20980	371,3	1454	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



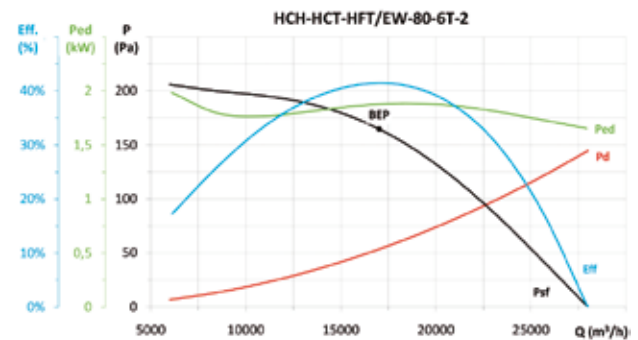
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,09	51,7%	58,2	0,950	12168	133,6	943	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



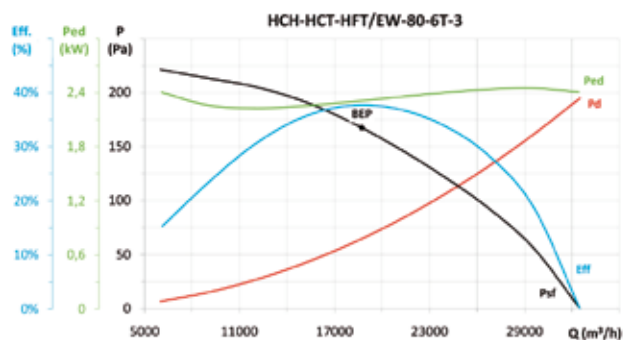
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,08	49,6%	55,0	1,400	15312	151,5	946	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



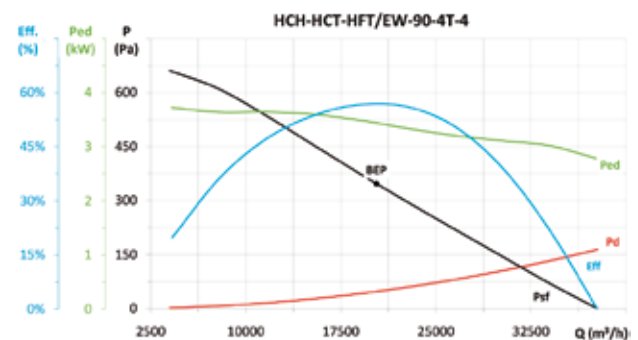
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,07	44,3%	48,9	1,878	17013	164,7	951	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



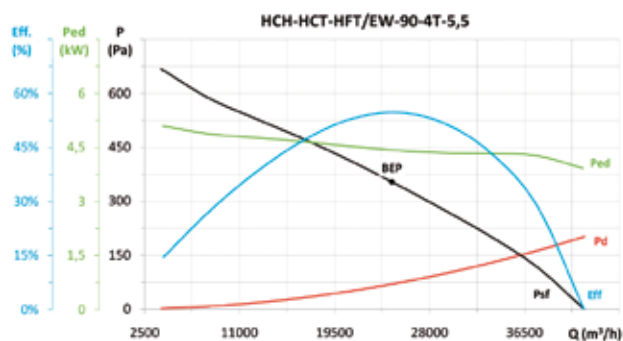
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,06	40,0%	44,1	2,310	18724	167,5	955	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



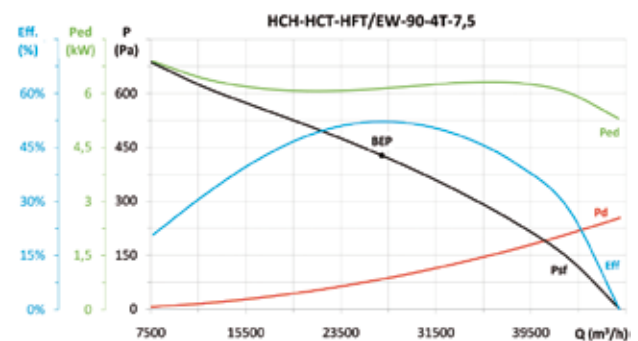
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,05	59,7%	62,7	3,438	20308	346,8	1443	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,04	57,0%	59,3	4,425	24635	353,7	1453	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,01	1,04	54,2%	55,6	6,132	26945	427,3	1466	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

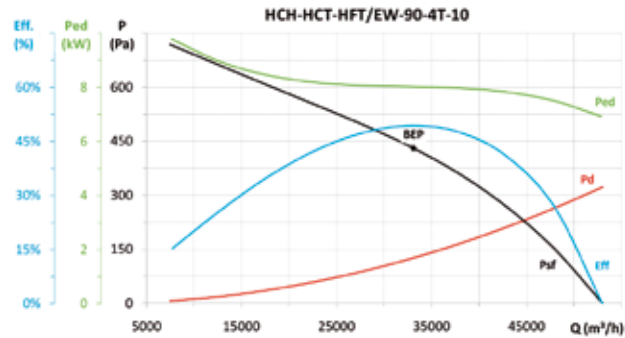




EFFICIENT WORK

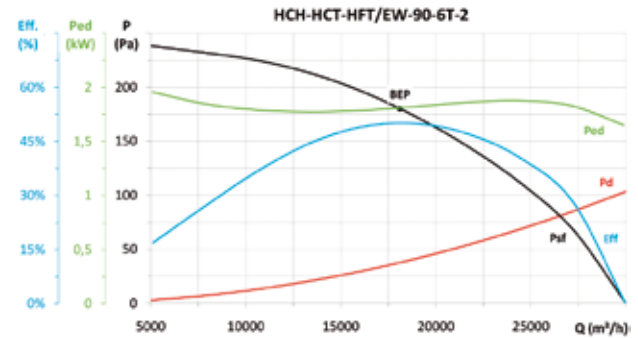


## Erp. Curvas características y datos Erp



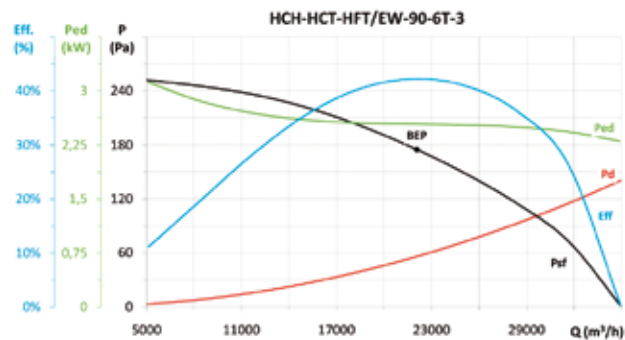
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,01	1,04	51,3%	51,9	8,025	33102	430,6	1467	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



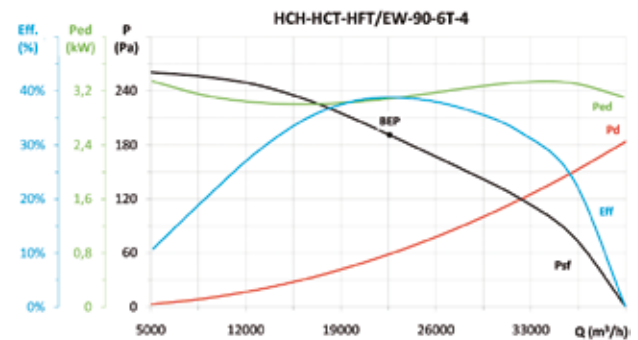
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,07	53,5%	58,3	1,810	18106	180,2	953	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



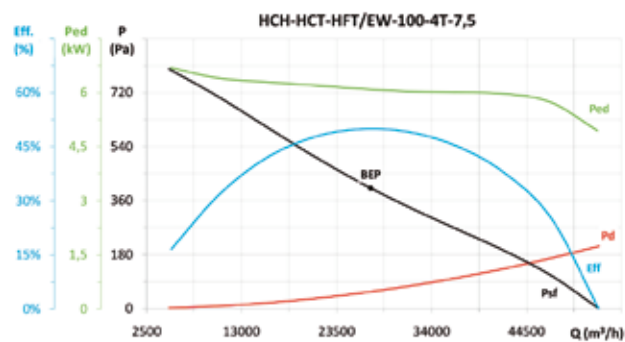
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,06	44,7%	48,5	2,539	22079	174,8	954	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



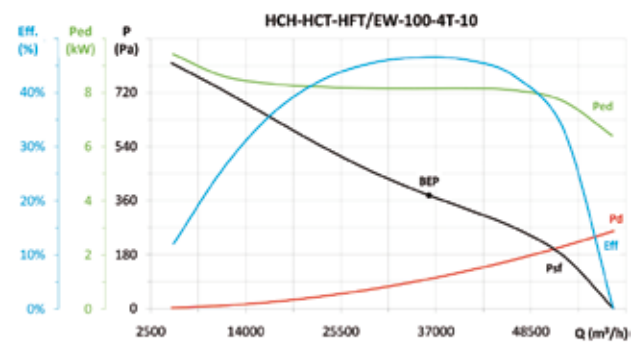
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,05	40,9%	44,1	3,087	22590	191,0	974	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



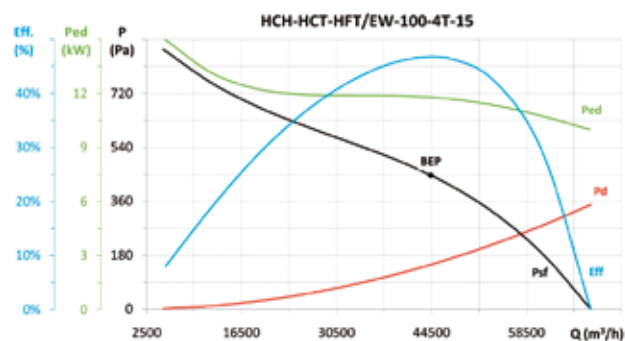
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,04	51,9%	53,3	6,092	27281	401,7	1467	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



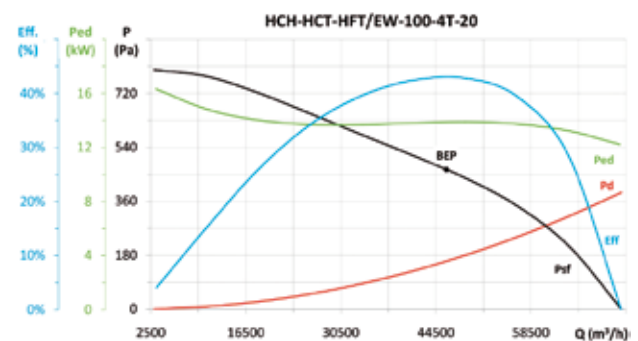
MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,04	48,4%	49,0	8,145	36164	377,5	1467	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,01	1,04	48,6%	48,5	11,781	44388	446,6	1472	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

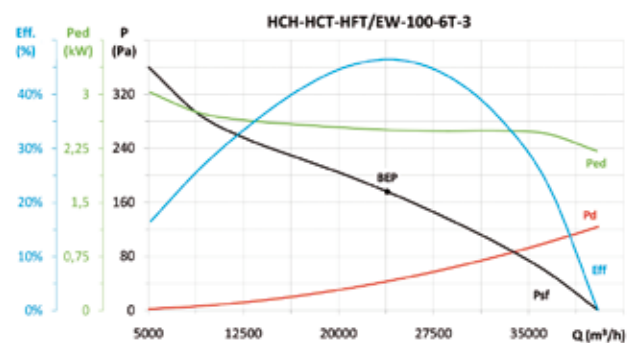


MC	EC	SR	Cc	$\eta_h$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,01	1,04	44,7%	44,5	13,862	46050	465,9	1472	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

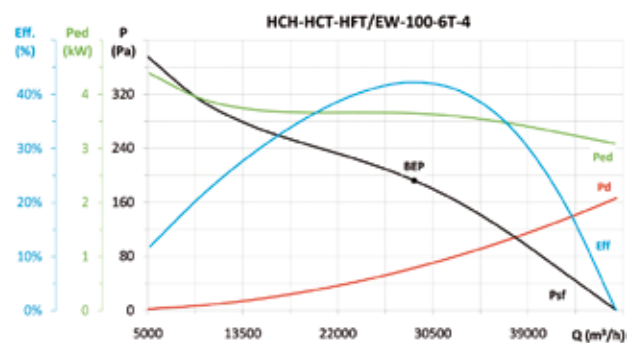


## Erp. Curvas características y datos ErP



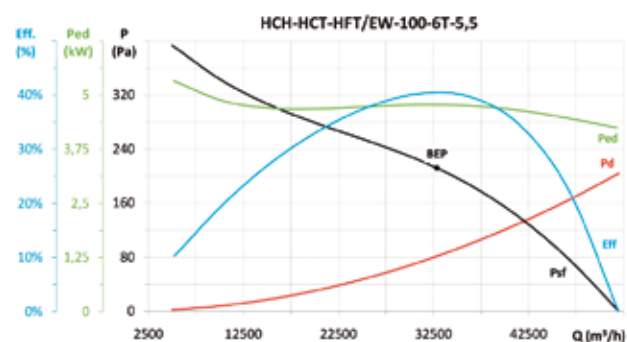
MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,06	49,2%	53,0	2,508	23849	175,8	954	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,05	44,2%	47,0	3,650	28826	192,4	970	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

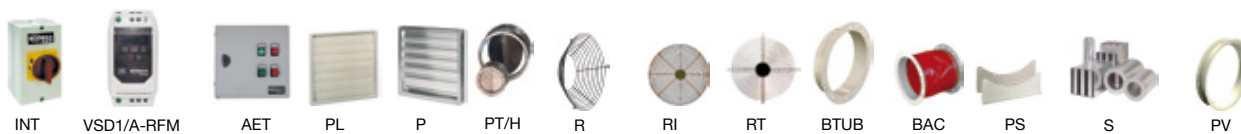


MC	EC	SR	Cc	$\eta_a$ (%)	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
A	S	1,00	1,04	42,1%	44,1	4,780	32856	212,0	961	NECESSARY

\* $\eta_e$  (%) = Eff. (%) x Cc

## Accesorios

Ver apartado accesorios.



# CJHCH



## Unidades de ventilación helicoidales, con caja aislada acústicamente

Unidades de ventilación con aislamiento interior acústico, con tapas de registro desmontables.

### Ventilador:

- Estructura en acero galvanizado con aislamiento térmico y acústico
- Hélices en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio
- Unidades de ventilación preparadas para trabajo vertical o horizontal
- Dirección aire motor-hélice

### Motor:

- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0,75 Kw, monofásicos y 2 velocidades.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos desde el tamaño 45 hasta el tamaño 56, protección IP54. De 1 ó 2 velocidades según modelo
- Monofásicos 230V.-50Hz., y trifásicos 230/400V.-50Hz.(hasta 5,5C.V.) y 400/690V.-50Hz.(potencias superiores a 5,5C.V.)

- Temperatura de trabajo : -25°C.+ 50°C.

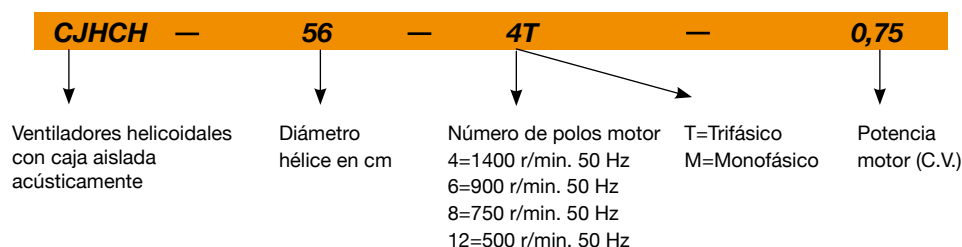
### Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.

### Bajo demanda:

- Hélices versión AL en fundición de aluminio
- Dirección aire hélice-motor.
- Hélices reversibles 100%
- Bobinados especiales para diferentes tensiones

## Código de pedido



## Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
CJHCH-56-4T-0,75	1450	3,12	1,80		0,55	11000	69	52,1
CJHCH-56-4M-0,75	1450	4,40			0,55	11000	69	52,1
CJHCH-56-4T-1	1450	3,46	2,00		0,75	12900	70	53,1
CJHCH-56-4/8T-1	1430 / 710		2,15 / 0,90		0,75 / 0,15	12900 / 6450	70 / 55	54,0
CJHCH-56-4T-1,5	1450	5,20	3,00		1,10	14000	71	56,8
CJHCH-56-4/8T-1,5	1440 / 710		3,15 / 1,30		1,10 / 0,25	14000 / 7000	71 / 56	55,3
CJHCH-56-4T-2	1450	6,41	3,70		1,50	15300	72	59,3
CJHCH-56-4/8T-2	1420 / 700		3,50 / 1,50		1,50 / 0,37	15300 / 7650	72 / 57	59,0
CJHCH-56-6T-0,33	950	1,47	0,85		0,25	8400	59	48,8
CJHCH-56-6M-0,33	950	1,85			0,25	8400	59	49,8
CJHCH-56-6T-0,5	950	2,11	1,22		0,37	9300	59	51,1
CJHCH-56-6T-0,75	950	2,96	1,71		0,55	10000	60	53,1
CJHCH-63-4T-1	1450	3,46	2,00		0,75	14100	70	57,5
CJHCH-63-4/8T-1	1430 / 710		2,15 / 0,90		0,75 / 0,15	14100 / 7050	70 / 55	58,4
CJHCH-63-4T-1,5	1450	5,20	3,00		1,10	17000	71	61,2
CJHCH-63-4/8T-1,5	1440 / 710		3,15 / 1,30		1,10 / 0,25	17000 / 8500	71 / 56	59,7
CJHCH-63-4T-2	1450	6,41	3,70		1,50	18900	72	63,7
CJHCH-63-4/8T-2	1420 / 700		3,50 / 1,50		1,50 / 0,37	18900 / 9450	72 / 57	63,4
CJHCH-63-4T-3	1450	8,49	4,90		2,20	22000	73	72,4
CJHCH-63-4/8T-3	1430 / 710		4,90 / 1,70		2,20 / 0,45	22000 / 11000	73 / 58	69,4
CJHCH-63-4T-4	1450	11,78	6,80		3,00	25200	74	74,4
CJHCH-63-4/8T-4	1430 / 710		6,50 / 2,30		3,00 / 0,60	25200 / 12600	74 / 59	72,8
CJHCH-63-6T-0,5	950	2,11	1,22		0,37	12000	62	55,5
CJHCH-63-6M-0,5	950	2,80			0,37	12000	62	55,5
CJHCH-63-6T-0,75	950	2,96	1,71		0,55	12600	63	57,5
CJHCH-63-6T-1	950	3,91	2,26		0,75	13800	64	64,2
CJHCH-63-6/12T-1	935 / 435		2,20 / 0,87		0,75 / 0,15	13800 / 6900	64 / 49	63,2

## Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
CJHCH-71-4T-1,5	1450	5,20	3,00		1,10	19900	75	77,3
CJHCH-71-4/8T-1,5	1440 / 710		3,15 / 1,30		1,10 / 0,25	19900 / 9950	75 / 60	75,8
CJHCH-71-4T-2	1450	6,41	3,70		1,50	21000	76	79,8
CJHCH-71-4/8T-2	1420 / 700		3,50 / 1,50		1,50 / 0,37	21000 / 10500	76 / 61	79,5
CJHCH-71-4T-3	1450	8,49	4,90		2,20	24000	78	89,3
CJHCH-71-4/8T-3	1430 / 710		4,90 / 1,70		2,20 / 0,45	24000 / 12000	78 / 63	86,3
CJHCH-71-4T-4	1450	11,78	6,80		3,00	29400	79	91,3
CJHCH-71-4/8T-4	1430 / 710		6,50 / 2,30		3,00 / 0,60	29400 / 14700	79 / 64	89,7
CJHCH-71-6T-0,75	950	2,96	1,71		0,55	15000	65	73,2
CJHCH-71-6M-0,75	950	3,80			0,55	15000	65	73,2
CJHCH-71-6T-1	950	3,91	2,26		0,75	17200	66	80,3
CJHCH-71-6/12T-1	950 / 435		2,26 / 0,87		0,75 / 0,15	17200 / 8600	66 / 51	79,3
CJHCH-71-6T-1,5	950	5,00	2,89		1,10	21100	67	82,3
CJHCH-71-6/12T-1,5	950 / 470		3,00 / 1,15		1,10 / 0,18	21100 / 10550	67 / 52	81,3
CJHCH-80-4T-3	1450	8,49	4,90		2,20	29500	79	97,3
CJHCH-80-4/8T-3	1430 / 710		4,90 / 1,70		2,20 / 0,45	29500 / 14750	79 / 64	94,3
CJHCH-80-4T-4	1450	11,78	6,80		3,00	37000	80	99,3
CJHCH-80-4/8T-4	1430 / 710		6,50 / 2,30		3,00 / 0,60	37000 / 18500	80 / 65	97,7
CJHCH-80-4T-5,5	1450	15,24	8,80		4,00	40500	81	104,2
CJHCH-80-4/8T-5,5	1430 / 710		8,80 / 2,90		4,00 / 0,80	40500 / 20250	81 / 66	110,2
CJHCH-80-6T-1	950	4,16	2,40		0,75	23000	69	88,3
CJHCH-80-6/12T-1	950 / 435		2,40 / 0,87		0,75 / 0,15	23000 / 11500	69 / 54	87,3
CJHCH-80-6T-1,5	950	5,80	3,35		1,10	26000	70	90,3
CJHCH-80-6/12T-1,5	950 / 470		3,35 / 1,15		1,10 / 0,18	26000 / 13000	70 / 55	89,3
CJHCH-80-6T-2	950	7,62	4,40		1,50	29700	71	96,3
CJHCH-80-6/12T-2	970 / 470		4,60 / 1,90		1,50 / 0,25	29700 / 14850	71 / 56	106,2
CJHCH-80-6T-3	950	9,35	5,40		2,20	33500	72	101,2
CJHCH-80-6/12T-3	940 / 470		5,60 / 2,20		2,20 / 0,37	33500 / 16750	72 / 57	106,2
CJHCH-80-8T-0,5	720	2,77	1,60		0,37	16500	67	87,3
CJHCH-80-8T-0,75	720	3,26	1,88		0,55	19500	68	89,3
CJHCH-80-8T-1	720	4,23	2,44		0,75	22000	69	94,3
CJHCH-90-4T-4	1450	11,95	6,90		3,00	40000	84	123,2
CJHCH-90-4/8T-4	1430 / 710		6,90 / 2,30		3,00 / 0,60	40000 / 20000	84 / 69	121,6
CJHCH-90-4T-5,5	1450	15,24	8,80		4,00	46500	86	128,1
CJHCH-90-4/8T-5,5	1450 / 710		8,80 / 2,90		4,00 / 0,80	46500 / 23250	86 / 71	134,1
CJHCH-90-4T-7,5	1450		12,40	7,20	5,50	51000	88	143,5
CJHCH-90-4/8T-7,5	1460 / 725		12,50 / 4,10		5,50 / 1,10	51000 / 25500	88 / 73	153,5
CJHCH-90-4T-10	1450		15,60	9,00	7,50	54700	89	154,5
CJHCH-90-4/8T-10	1460 / 725		15,30 / 5,40		7,50 / 1,50	54700 / 27350	89 / 74	158,5
CJHCH-90-6T-2	950	7,62	4,40		1,50	34300	75	120,2
CJHCH-90-6/12T-2	970 / 470		4,60 / 1,90		1,50 / 0,25	34300 / 17150	75 / 60	130,1
CJHCH-90-6T-3	950	9,35	5,40		2,20	38000	76	125,1
CJHCH-90-6/12T-3	940 / 470		5,60 / 2,20		2,20 / 0,37	38000 / 19000	76 / 61	130,1
CJHCH-90-6T-4	950	12,66	7,31		3,00	42400	77	148,5
CJHCH-90-6/12T-4	960 / 470		8,20 / 3,40		3,00 / 0,55	42400 / 21200	77 / 62	147,5
CJHCH-90-8T-1	720	4,23	2,44		0,75	22500	69	118,2
CJHCH-90-8T-1,5	720	5,99	3,46		1,10	24000	70	121,2
CJHCH-90-8T-2	720	7,36	4,25		1,50	26000	71	132,1
CJHCH-90-8T-3	720	9,75	5,63		2,20	30000	72	158,5
CJHCH-100-4T-7,5	1450		11,90	6,90	5,50	54000	89	152,1
CJHCH-100-4/8T-7,5	1460 / 725		12,50 / 4,10		5,50 / 1,10	54000 / 27000	89 / 74	162,1
CJHCH-100-4T-10	1450		16,90	9,80	7,50	63000	90	163,1
CJHCH-100-4/8T-10	1460 / 725		16,90 / 5,40		7,50 / 1,50	63000 / 31500	90 / 75	167,1
CJHCH-100-4T-15	1460		22,50	13,00	11,00	68000	91	185,7
CJHCH-100-4/8T-15	1460 / 735		21,00 / 7,40		10,50 / 2,20	68000 / 34000	91 / 76	185,7
CJHCH-100-4T-20	1455		30,00	17,30	15,00	72000	92	204,7
CJHCH-100-4/8T-20	1460 / 735		30,00 / 9,50		15,50 / 2,70	72000 / 36000	92 / 77	200,7
CJHCH-100-6T-3	950	10,05	5,80		2,20	43000	80	133,0
CJHCH-100-6/12T-3	940 / 470		5,80 / 2,20		2,20 / 0,37	43000 / 21500	80 / 65	138,0
CJHCH-100-6T-4	950	12,66	7,31		3,00	47000	81	157,1
CJHCH-100-6/12T-4	960 / 470		8,20 / 3,40		3,00 / 0,55	47000 / 23500	81 / 66	156,1
CJHCH-100-6T-5,5	950	15,76	9,10		4,00	53000	82	165,1
CJHCH-100-6/12T-5,5	970 / 480		11,00 / 4,00		4,00 / 0,65	53000 / 26500	82 / 67	161,1
CJHCH-100-8T-1,5	720	6,32	3,65		1,10	32500	74	128,3
CJHCH-100-8T-2	720	7,36	4,25		1,50	33900	75	140,0
CJHCH-100-8T-3	720	9,75	5,63		2,20	35000	75	167,1
CJHCH-100-8T-4	720	12,51	7,22		3,00	38000	76	175,1



**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 8**

**Equipos y servicios**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

***Tutor: José María Riola Rodríguez***

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Definición y dimensionamiento de los servicios exigidos por la reglamentación ..</b>	<b>5</b>
2.1. Sistema de fondeo y amarre .....	5
2.1.1. Numeral del equipo .....	5
2.1.2. Sistema de fondeo con anclas.....	6
2.1.2.1. Anclas.....	6
2.1.2.2. Cadena .....	7
2.1.2.3. Caja de cadenas.....	8
2.1.2.4. Escobén .....	9
2.1.2.5. Molinete del ancla .....	9
2.1.2.6. Estopor.....	10
2.1.2.7. Bozas de cadena.....	10
2.1.3. Sistema de amarre.....	11
2.1.3.1. Estachas y cables de remolque y amarre .....	11
2.1.3.2. Bitas y pasacabos .....	12
2.2. Servicios de baldeo y contra incendios .....	13
2.2.1. Sistema de detección de incendios .....	14
2.2.2. Sistema de contra incendios con agua salada.....	15
2.2.3. Sistema de contra incendios con rociadores.....	16
2.2.4. Sistema de contra incendios con gas .....	19
2.2.5. Equipos individuales de contra incendios .....	22
2.2.6. Protección pasiva contra incendios.....	24
2.2.7. Evacuación .....	25
2.3. Sistemas de salvamento .....	26
2.3.1. Equipos individuales de salvamento y rescate .....	27
2.3.2. Elementos de señalización .....	28
2.3.3. Embarcaciones de supervivencia y de rescate.....	28
2.3.4. Medios de embarque.....	28
2.3.5. Zona de rescate (Rescue Zone) .....	29
2.3.6. Zona de rescate mediante helicóptero.....	29
2.4. Servicios de la habilitación .....	30
2.4.1. Acomodación .....	30
2.4.2. Sistema de climatización.....	31
2.4.3. Cocina, gambuza y lavandería.....	33
2.5. Sistema de alumbrado.....	33
2.5.1. Alumbrado exterior.....	34
2.5.2. Alumbrado interior .....	35
2.5.3. Alumbrado de emergencia .....	36
2.6. Sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones .....	36
2.6.1. Sistemas de ayudas a la Navegación .....	37
2.6.1.1. Sistemas y aparatos náuticos de a bordo.....	37
2.6.1.2. Identificación y seguimiento de largo alcance de los buques .....	40
2.6.1.3. Registrador de datos de la travesía .....	40
2.6.2. Comunicaciones .....	41

2.6.2.1. Comunicaciones interiores y de seguridad .....	41
2.6.2.2. Comunicaciones exteriores .....	42
2.7. Sistemas auxiliares .....	44
2.7.1. Sistema de venteo .....	44
2.7.2. Servicio de accesos .....	45
<b>3. Definición y dimensionamiento de los servicios específicos del buque para su misión .....</b>	<b>47</b>
3.1. Servicios de gobierno .....	47
3.1.1. Propulsores Azipod CO140.....	47
3.1.2. Propulsores de proa .....	48
3.1.3. Posicionamiento dinámico .....	48
3.2. Equipos para el remolque y manejo de anclas .....	49
3.2.1. Rodillo de popa o Stern Roller .....	50
3.2.2. Shark Jaws, Tow Pins y Centring Devices.....	50
3.2.3. Stop Pins .....	50
3.2.4. Spooling Sheave .....	51
3.2.5. Tugger Winches .....	51
3.2.6. Grúas de cubierta.....	51
3.2.7. Chain Haulers y Chain Rollers .....	52
3.2.8. Spooling devices.....	53
3.2.9. Cable Lifter Changer .....	53
3.2.10. Anchor Handling/Tow Winches .....	53
3.2.11. Secondary Winches .....	54
3.2.12. Storage Winches .....	54
3.2.13. Towcon Control and Monitoring System.....	54
3.3. Servicios de la carga .....	56
3.3.1. Bombas .....	56
3.3.2. Compresores.....	56
3.3.3. Grúas.....	57
3.4. Sistemas de protección frente al ambiente marino .....	58
3.4.1. Sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio .....	58
3.4.2. Galvanizado y decapado de tuberías y elementos .....	58
3.4.3. Protección por recubrimientos de pintura .....	59
<b>4. Bibliografía general.....</b>	<b>60</b>
4.1. Bibliografía básica.....	60
4.2. Bibliografía complementaria.....	60

## **Figuras**

Figura 1. Ancla tipo Spek.....	7
Figura 2. Sistema de fondeo con anclas .....	11
Figura 3. Sistema automático de rociadores de baja presión .....	18
Figura 4. Sistema de contra incendios con gas .....	21
Figura 5. Luces de navegación .....	34
Figura 6. Zonas marítimas principales en la Unión Europea .....	43
Figura 7. Disposición típica de los propulsores Azipod en un buque.....	47
Figura 8. Perfil del thruster de proa con las dimensiones principales .....	48
Figura 9. Fotografía de una unidad de control redundante de DP .....	49
Figura 10. Esquema e imagen del sistema de shark jaws .....	50
Figura 11. Spooling device.....	51
Figura 12. Grúas de cubierta .....	51
Figura 13. Esquema de la popa con los equipos de remolque y manejo de anclas .....	52
Figura 14. Chain haulers y chain rollers .....	52
Figura 15. Spooling devices .....	53
Figura 16. Cable lifter changer .....	53
Figura 17. Anchor handling/tow winches .....	54
Figura 18. Towcon Control and Monitoring System .....	55
Figura 19. Esquema de los equipos de remolque y manejo de anclas a popa de la habilitación .....	55
Figura 20. Compresores para soplado de áridos de la casa Asturcom.....	57

## **Tablas**

Tabla 1. Tabla 13.7.2 de Lloyd's Register. Resaltado en amarillo el intervalo del numeral del equipo del buque proyecto .....	6
Tabla 2. Principales dimensiones de las anclas tipo Spek.....	7
Tabla 3. Características de la cadena .....	8
Tabla 4. Tabla 13.7.3 de Lloyd's Register. Resaltado en amarillo el intervalo del numeral del equipo del buque proyecto .....	12
Tabla 5. Disposición de los detectores automáticos de incendios .....	15
Tabla 6. Tabla 9.5 del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS .....	24
Tabla 7. Tabla 9.6 del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS .....	25
Tabla 8. Equipos de salvamento del buque proyecto.....	30
Tabla 9. Esquema de los camarotes en la zona de la habilitación .....	30
Tabla 10. Valores mínimos para la refrigeración con la unidad de A/C.....	32

## **1. Introducción**

El objetivo de este cuaderno es hacer la definición y dimensionamiento de los equipos y servicios exigidos por la reglamentación (Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y la Normativa Internacional) y los específicos del buque para su misión.

Se deben considerar los siguientes servicios:

- Servicios de casco y cubierta.
- Servicios de carga.
- Servicios de navegación y comunicaciones.
- Servicios de habilitación.
- Servicios de alumbrado.

Los valores de las áreas y volúmenes de todos los distintos locales del buque se han calculado a partir del plano de disposición general elaborado en el Cuaderno 4.

Las especificaciones del buque proyecto, que condicionan los requisitos de los diferentes servicios, indican lo siguiente:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

## **2. Definición y dimensionamiento de los servicios exigidos por la reglamentación**

Todos los sistemas y equipos que se describen en este apartado son los que se prescriben en las normas y directrices del Convenio SOLAS y la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register.

### **2.1. Sistema de fondeo y amarre**

En este apartado se detallarán los equipos necesarios para permitir al buque proyecto mantener su posición, sin necesidad de los propulsores, ante las condiciones ambientales de viento, corriente y olas.

#### **2.1.1. Numeral del equipo**

El equipo de anclas y cadenas especificado en la parte 3, capítulo 13.7 de Lloyd's Register se basa en el Numeral del equipo, el cual se calcula de la siguiente manera (parte 3, capítulo 1.7):

$$\text{Equipment Number} = \Delta^{2/3} + 2(Bf + \Sigma bh) + \frac{A}{10}$$

- $\Delta$ : desplazamiento de trazado (8482 t).
- B: manga máxima de trazado (21,7 m).
- f: francobordo en la cuaderna maestra, en metros, desde la línea de flotación de carga de verano (1,70 m).
- b: manga en metros de la superestructura o caseta más ancha en cada cubierta.
- h: altura, en metros, de cada cubierta de la superestructura o caseta con una manga de B/4 o mayor, ignorando arrufo y trimado.
- A: área, en m<sup>2</sup>, en el plano de crujía dentro de la eslora reglamentaria del buque, del casco y de las superestructuras y casetas por encima de la flotación de verano que tengan una manga mayor de B/4 (602,2 m<sup>2</sup>).

**Equipment Number =**

$$\begin{aligned}
 &= 8482^{2/3} \\
 &+ 2(21,7 \cdot 1,70 \\
 &+ (21,70 \cdot 3 + 21,70 \cdot 3 + 21,70 \cdot 3 + 21,70 \cdot 3 + 16,05 \cdot 3 + 16,05 \\
 &\cdot 2,8 + 16,05 \cdot 6,2)) + \frac{602,2}{10} = \mathbf{1456}
 \end{aligned}$$

Como se dice en la parte 3, capítulo 13.7 del Lloyd's, para los buques de apoyo a plataformas deberán emplearse las tablas 13.7.2 y 13.7.3 en el cálculo de los diferentes equipos de amarre y remolque. La longitud y diámetro de los cables de cadena no necesita aumentarse para los buques con DP(AA), como en el caso del buque proyecto.

## 2.1.2. Sistema de fondeo con anclas

### 2.1.2.1. Anclas

Como se puede ver en la tabla 13.7.2 de la Parte 3, capítulo 13.7 de Lloyd's Register, al numeral del equipo obtenido, 1456, le corresponde una letra de equipamiento B<sup>+</sup>.

**Table 13.7.2 Equipment – Bower anchors and chain cables**

Equipment number		Equipment Letter	Stockless bower anchors		Stud link chain cables for bower anchors			
Exceeding	Not exceeding		Number	Mass of anchor, in kg	Total length, in metres	Diameter, in mm		
						Mild steel (Grade 1 or U1)	Special quality steel (Grade U2)	Extra special quality steel (Grade U3)
50	70	A	2	180	220	14	12,5	—
70	90	B	2	240	220	16	14	—
90	110	C	2	300	247,5	17,5	16	—
110	130	D	2	360	247,5	19	17,5	—
130	150	E	2	420	275	20,5	17,5	—
150	175	F	2	480	275	22	19	—
175	205	G	2	570	302,5	24	20,5	—
205	240	H	2	660	302,5	26	22	20,5
240	280	I	2	780	330	28	24	22
280	320	J	2	900	357,5	30	26	24
320	360	K	2	1020	357,5	32	28	24
360	400	L	2	1140	385	34	30	26
400	450	M	2	1290	385	36	32	28
450	500	N	2	1440	412,5	38	34	30
500	550	O	2	1590	412,5	40	34	30
550	600	P	2	1740	440	42	36	32
600	660	Q	2	1920	440	44	38	34
660	720	R	2	2100	440	46	40	36
720	780	S	2	2280	467,5	48	42	36
780	840	T	2	2460	467,5	50	44	38
840	910	U	2	2640	467,5	52	46	40
910	980	V	2	2850	495	54	48	42
980	1060	W	2	3060	495	56	50	44
1060	1140	X	2	3300	495	58	50	46
1140	1220	Y	2	3540	522,5	60	52	46
1220	1300	Z	2	3780	522,5	62	54	48
1300	1390	A <sup>+</sup>	2	4050	522,5	64	56	50
1390	1480	B <sup>+</sup>	2	4320	550	66	58	50
1480	1570	C <sup>+</sup>	2	4590	550	68	60	52
1570	1670	D <sup>+</sup>	2	4890	550	70	62	54

*Tabla 1. Tabla 13.7.2 de Lloyd's Register. Resaltado en amarillo el intervalo del numeral del equipo del buque proyecto*

Siguiendo los requerimientos indicados, el buque proyecto se equipa con **dos anclas de 4320 kg**, aceptándose una tolerancia en dicho peso del 7% según establece la Sociedad de Clasificación.

El tipo de ancla es de leva sin cepo, que permite introducir la caña en el escobén, quedando en una posición fácil para su trinca. Hay distintos tipos de anclas de leva sin cepo, pero la que se elige para el buque proyecto es de tipo Spek, con las siguientes dimensiones:

Masa	A	B	C	D	E	F	G
4320	1400	1926	438	933	2520	1400	413

Tabla 2. Principales dimensiones de las anclas tipo Spek

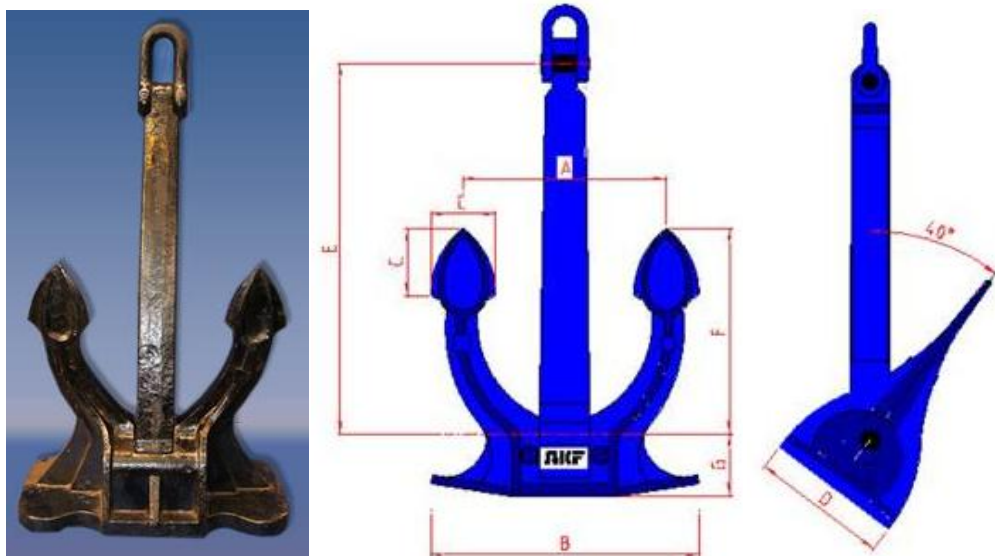


Figura 1. Ancla tipo Spek

#### 2.1.2.2. Cadena

Continuando con lo indicado en la tabla 13.7.2 de Lloyd's Register, para el numeral del equipo obtenido, 1456, debe montarse en el buque proyecto una cadena de al menos **550 metros de longitud**.

Respecto a los tres tipos de materiales posibles indicados en la tabla, se elige un acero de calidad U2, con lo que el diámetro mínimo es 58 mm. Se mantendrá la uniformidad en cuanto al material de todos los componentes integrantes de la cadena, puesto que de acuerdo a la normativa de Lloyd's, en la Parte 2, capítulo 10.2.13.4, todos los accesorios de la cadena (grilletes, eslabones giratorios, grilletes giratorios, etc.) deberán ser de una calidad mínima de acero U2.

Una cadena está formada por un conjunto de eslabones. Cada eslabón tiene un tamaño definido a partir del diámetro del redondo con el cual se ha formado dicho eslabón. La longitud del eslabón es 6 veces el diámetro y su anchura 3,6 veces el diámetro. Los eslabones se unen durante su fabricación para formar lo que se denomina un largo de cadena, los cuales tienen normalmente una longitud de 27,5 m.

Los largos de cadena se unirán entre sí por medio de grilletes tipo Kenter evitando así el empleo de eslabones gruesos y finales. El primer largo de la cadena se une al grillete del ancla por medio de un grillete giratorio para evitar que la cadena tome vueltas por efecto del ancla.



La carga en pruebas de las cadenas deberá ser de 1299 kN y la de rotura de 1818kN, tal y como se indica en la tabla 10.2.4 de la Parte 2, Capítulo 10.2 de la normativa de Lloyd's.

La forma y las dimensiones de los eslabones y grilletes cumplirán con la norma ISO/1704-1991.

Por todo ello, las características de la cadena instalada en el buque proyecto serán las siguientes:

<b>Largo total</b>	550 m
<b>Número de largos</b>	10 (2 a cada banda)
<b>Calidad del acero</b>	Grado U2
<b>Diámetro del eslabón (d)</b>	58 mm
<b>Longitud del eslabón (6·d)</b>	348 mm
<b>Anchura del eslabón (3,6·d)</b>	209 mm
<b>Masa total aproximada</b>	40000 kg
<b>Carga de pruebas</b>	1299 kN
<b>Carga de rotura</b>	1818 kN

*Tabla 3. Características de la cadena*

### 2.1.2.3. Caja de cadenas

Se instalan en el buque proyecto sendas cajas de cadenas en el pique de proa, una a babor y otra a estribor. Tendrán ambas forma de cilindro, puesto que de esta forma la cadena ocupa un volumen mínimo cuando se halla estibada en su interior. Además, tendrán una plancha perforada a una altura de 0,4 metros para evitar dañar el suelo de la cubierta y para poder recoger los fangos introducidos por la cadena al estibarla. En las paredes de las cajas de cadenas se pondrá una protección de madera hasta una altura de 1,5 m para disminuir ruidos y golpes con las chapas de acero.

Una forma de estimar las dimensiones de la caja de cadenas es la siguiente:

$$V = 0,082 \cdot d^2 \cdot L \cdot 10^{-4}$$

- V: volumen de la caja de cadenas (m<sup>3</sup>).
- d: diámetro del redondo (58 mm).
- L: longitud de la cadena mayor (550 m).

Por lo que el volumen mínimo es:

$$V = 0,082 \cdot 58^2 \cdot 550 \cdot 10^{-4} = 15,17m^3$$

Se dispondrá entonces de dos cajas de cadenas separadas con un volumen mínimo cada una de 7,6 m<sup>3</sup>.

Las cajas de cadenas se situarán sobre la primera cubierta, llegando en altura hasta la cubierta A.

#### **2.1.2.4. Escobén**

El buque proyecto dispondrá de dos escobenes, uno a cada banda. Su posición y pendiente deben facilitar las operaciones de estibado y largado del ancla, evitando producir daños en el casco del buque. Las zonas que estén en contacto con el ancla o las cadenas deben estar convenientemente redondeadas y reforzadas.

Los escobenes contarán con un sistema de limpiado de agua a presión, alimentado por el sistema de contra incendios, para la limpieza del ancla y de la cadena durante el izado.

El diámetro mínimo interior de los escobenes estará definido mediante la expresión:

$$D = [(100 - d) \cdot 0,03867 + 7,5] \cdot d$$

- D: diámetro de la bocina del escobén (mm).
- d: diámetro del redondo de la cadena (58 mm).

$$D = [(100 - 58mm) \cdot 0,03867 + 7,5] \cdot 58mm = 529mm$$

#### **2.1.2.5. Molinete del ancla**

Los molinetes que se elijan deben ser apropiados para el tamaño y peso de la cadena y el ancla. Se decide instalar un molinete hidráulico doble para ambas anclas, que debe estar situado en una posición adecuada para conducir las cadenas hacia los escobenes. Dispondrá de dos barbotenes para el engranaje de las cadenas de las dos anclas y dos cabirones para maniobras de amarre y auxiliares. El molinete tendrá un sistema de auto parada cuando se produzca una inactividad de 10 minutos. También tendrá un control remoto en el puente de mando con parada de emergencia.

Para calcular la potencia del molinete se debe tener en cuenta que la forma de trabajo de éste se constituye de tres fases. En la primera, el buque se mueve en dirección al ancla, que es lo que se conoce como “hacer el ancla”; la segunda fase comprende desde que la cadena comienza a garrear por el fondo hasta que deja de apoyarse sobre en él; por último, la tercera fase consiste en el izado de la cadena y el ancla hasta quedar estibada en el escobén.

La potencia del molinete se hallará mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{0,87 \cdot (P_C + P_A) \cdot e \cdot v_{izado}}{60 \cdot 75 \cdot \eta_{mm}}$$

- P: potencia necesaria del molinete (CV).
- P<sub>C</sub>: peso de 4 largos de cadena fuera del agua (8000 kg).
- P<sub>A</sub>: peso del ancla fuera del agua (4320 kg).
- e: poder de agarre del ancla (2).
- v<sub>izado</sub>: es la velocidad de izado en metros por minuto (10m/min).
- η<sub>mm</sub>: rendimiento mecánico del molinete (0,6).

$$P = \frac{0,87 \cdot (8000kg + 4320kg) \cdot 2 \cdot 10 \frac{m}{min}}{60 \cdot 75 \cdot 0,6} = 80CV \approx 60kW$$

Al ser un molinete doble, habrá de ser capaz de izar a la vez las dos anclas y cadenas, por lo cual deberá tener una potencia mínima de trabajo de 120kW.

El accionamiento del molinete será a través de dos electrobombas situadas en la proa. Para estimar la potencia eléctrica demandada se supondrá un rendimiento eléctrico de 0,85. Entonces, la potencia de las dos electrobombas será de 140 kW

#### **2.1.2.6. Estopor**

Es una pieza de acero moldeado, en cuya parte superior tiene una guía. A través de la guía, que tiene dos posiciones, pasa la cadena del ancla. Una posición permite el libre deslizamiento de la cadena y, en la otra, hay un cierre que impide el libre deslizamiento, por lo que la cadena queda frenada y bloqueada. El estopor debe retener la cadena tanto en navegación como cuando el buque esté fondeado.

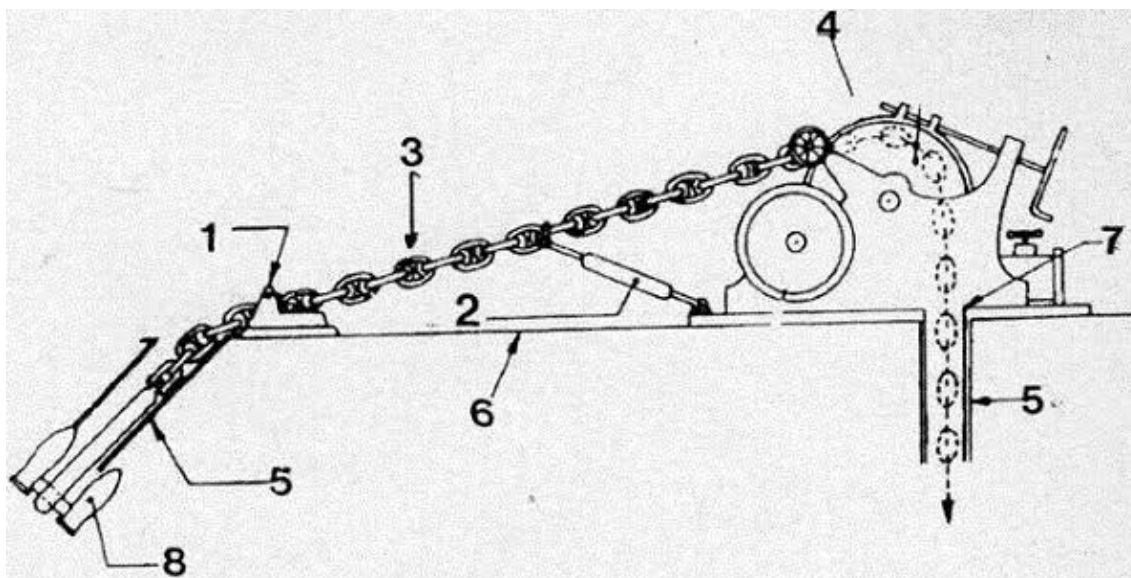
El estopor se encuentra sobre la cubierta, siempre a proa del molinete, entre éste y el escobén. Habrá uno por banda (anclas de estribor y babor).

#### **2.1.2.7. Bozas de cadena**

Consiste en una cadena hecha firme a un grillete en un extremo y este a su vez a un cáncamo soldado o empernado a cubierta, en el otro extremo de la cadena tiene un gancho disparador (tipo pelícano o gavilán). Este tipo de boza, (también se utilizan tensores), se encuentra delante del molinete, se utiliza para tener la cadena del ancla trincada y de esta manera frenada, hasta su utilización.

Una vez descrito el sistema de fondeo con anclas, se muestran en la siguiente imagen los elementos principales:

1. Estopor.
2. Boza de cadena o tensor.
3. Cadena.
4. Molinete.
5. Bocina o escobén.
6. Cubierta B.
7. Gatera de caja de cadenas.
8. Ancla.



*Figura 2. Sistema de fondeo con anclas*

### **2.1.3. Sistema de amarre**

#### **2.1.3.1. Estachas y cables de remolque y amarre**

Según el Reglamento de Lloyd's Register Parte 3, Capítulo 13.7, para los buques por debajo de 90 metros de eslora, los cables de remolque y las líneas de amarre requeridas deberán ser las siguientes:

Los buques con una eslora menor de 90 metros requieren líneas de amarre que cumplan con lo indicado en la tabla 13.7.3 de Lloyd's Register. No se necesitan cables de remolque obligatoriamente y los datos que figuran en esta tabla refiriéndose a ellos son sólo con fines orientativos.

**Table 13.7.3 Equipment – Stream anchors, stream wires, towlines and mooring lines** (see continuation)

Equipment number		Equipment Letter	Mass of stock-less stream anchor, in kg	Stream wire or chain		Towline <sup>(1)</sup>		Mooring lines		
Exceeding	Not exceeding			Minimum length in metres	Minimum breaking strength, in kN (tonne-f)	Minimum length in metres	Minimum breaking strength, in kN	Number	Minimum length of each line, in metres	Minimum breaking strength, in kN (tonne-f)
50	70	A	60	80	64,7 (6,60)	180	98	3	80	34
70	90	B	80	85	73,5 (7,50)	180	98	3	100	37
90	110	C	100	85	81,4 (8,30)	180	98	3	110	39
110	130	D	120	90	89,2 (9,10)	180	98	3	110	44
130	150	E	140	90	98,1 (10,00)	180	98	3	120	49
150	175	F	165	90	107,9 (11,00)	180	98	3	120	54
175	205	G	190	90	117,7 (12,00)	180	112	3	120	59
205	240	H	—	—	—	180	129	4	120	64
240	280	I	—	—	—	180	150	4	120	69
280	320	J	—	—	—	180	174	4	140	74
320	360	K	—	—	—	180	207	4	140	78
360	400	L	—	—	—	180	224	4	140	88
400	450	M	—	—	—	180	250	4	140	98
450	500	N	—	—	—	180	277	4	140	108
500	550	O	—	—	—	190	306	4	160	123
550	600	P	—	—	—	190	338	4	160	132
600	660	Q	—	—	—	190	370	4	160	147
660	720	R	—	—	—	190	406	4	160	157
720	780	S	—	—	—	190	441	4	170	172
780	840	T	—	—	—	190	479	4	170	186
840	910	U	—	—	—	190	518	4	170	201
910	980	V	—	—	—	190	559	4	170	216
980	1060	W	—	—	—	200	603	4	180	230
1060	1140	X	—	—	—	200	647	4	180	250
1140	1220	Y	—	—	—	200	691	4	180	270
1220	1300	Z	—	—	—	200	738	4	180	284
1300	1390	A†	—	—	—	200	786	4	180	309
1390	1480	B†	—	—	—	200	836	4	180	324
1480	1570	C†	—	—	—	220	888	5	190	324
1570	1670	D†	—	—	—	220	941	5	190	333
1670	1790	E†	—	—	—	220	1024	5	190	353
1790	1900	F†	—	—	—	220	1100	5	190	370

Tabla 4. Tabla 13.7.3 de Lloyd's Register. Resaltado en amarillo el intervalo del numeral del equipo del buque proyecto

Por lo tanto, se equipará al buque con el siguiente material de remolque y amarre:

- *Cable de remolque:* Deberá tener una longitud mínima de 200 metros, con una carga mínima de rotura de 836 kN.
- *Líneas de amarre:* Se deberán llevar 4 líneas de amarre con una longitud mínima cada una de 180 m y con una carga mínima de rotura de 324 kN.

Las líneas de amarre pueden ser de alambre, fibra natural o fibra sintética. El diámetro, la construcción y las especificaciones de los alambres o fibras naturales de las líneas de amarre deben cumplir con los requisitos del Capítulo 10 de Lloyd's (Rules for Materials).

### 2.1.3.2. Bitas y pasacabos

El equipo de amarre incluye 10 bitas, cuatro pasacabos de 400 x 250 mm, seis pasacabos con rodillos, cuatro rodillos horizontales en la cubierta B para el remolque y un pasacabos grande en crujía a proa.

## 2.2. Servicios de baldeo y contra incendios

Los servicios de baldeo se encargan de suministrar agua para la limpieza de las cubiertas, mientras que los servicios de contra incendios se aseguran de distribuir el agua de forma controlada a cualquier punto del buque para la lucha contra incendios. Ambos servicios de baldeo y de contra incendios comparten un sistema de tuberías común.

El Capítulo II-2 del Convenio SOLAS trata las reglas referentes a la Prevención, Detección y Extinción de incendios. Por ello, para realizar la descripción de los servicios de contra incendios del buque proyecto, se seguirán los requisitos indicados en esa normativa. En la Regla 2 se exponen los objetivos de la seguridad contra incendios y las prescripciones, que se resumen a continuación:

- Objetivos de la seguridad contra incendios:
  - Evitar que se produzcan incendios y explosiones.
  - Reducir los peligros para la vida humana que puede presentar un incendio.
  - Reducir el riesgo de que el incendio ocasione daños al buque, a su carga o al medio ambiente.
  - Contener, controlar y eliminar el incendio y las explosiones en el compartimiento de origen.
  - Facilitar a los pasajeros y a la tripulación medios de evacuación adecuados y fácilmente accesibles.
- Prescripciones funcionales:
  - División del buque en zonas verticales principales y zonas horizontales, mediante contornos que ofrecen protección térmica y estructural.
  - Separación de los espacios de alojamiento del resto del buque mediante contornos que ofrecen protección térmica y estructural.
  - Utilización restringida de materiales combustibles.
  - Detección de cualquier incendio en la zona de origen.
  - Contención y extinción de cualquier incendio en la zona de origen.
  - Protección de las vías de evacuación y de acceso para la lucha contra incendios.
  - Disponibilidad inmediata de los medios de extinción de incendios.
  - Reducción al mínimo de la posibilidad de ignición de los vapores de las cargas inflamables.

En la Parte B del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS se trata la prevención de incendios y explosiones, y la supresión de incendios se recoge en la Parte C.

Según la Regla 10, Lucha contra incendios, la finalidad de la misma es la supresión y rápida extinción de un incendio en el espacio de origen. Para este fin, se cumplirán las siguientes prescripciones funcionales:

- Se instalarán sistemas fijos de extinción de incendios teniendo debidamente en cuenta el potencial de propagación del incendio en los espacios protegidos.
- Estarán rápidamente disponibles dispositivos de extinción de incendios.

Los tipos de sistemas fijos de extinción de incendios podrán ser uno cualquiera de los siguientes:

- Un sistema fijo de gas que cumpla lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios.
- Un sistema fijo de espuma de alta expansión que cumpla lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios.
- Un sistema fijo aspersor de agua a presión que cumpla lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios.

Como se expondrá en los próximos subapartados, el buque proyecto lleva instalado un sistema de contra incendios con rociadores en los espacios de alojamiento y en los espacios de servicio, y un sistema de contra incendios con gas en los espacios de máquinas, espacios de carga y cámara de bombas de carga.

### **2.2.1. Sistema de detección de incendios**

La Regla 7 del Convenio SOLAS tiene como finalidad lograr que se detecte un incendio en el espacio de origen y que se active una alarma a fin de permitir una evacuación sin riesgos y que se inicien inmediatamente las actividades de lucha contra incendios.

El sistema de detección de incendios está monitorizado en un panel de control situado en el puente de gobierno. Se instalará un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contra incendios en:

- Espacios de maquinaria sin dotación permanente.
- Espacios de maquinaria con vigilancia continua desde cámara de control.
- Cocinas y otros espacios de servicio (no es necesario en espacios con riesgo bajo de incendio).
- Pasillos, escaleras y vías de evacuación.

En los espacios de alojamiento y de servicio y en los puestos de control se adoptará el método de protección IIC, indicado en la Regla 9.2.3.1 del

Capítulo II-2 SOLAS, según el cual se exige la instalación de un sistema automático de rociadores, detección de incendios y alarma contra incendios según estipula la regla 7.5.5.2 para detectar y extinguir un incendio en todos los espacios en que pueda producirse, sin restricciones en general en cuanto al tipo de mamparos de compartimentado interior.

Se instalarán avisadores de accionamiento manual que cumplan lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios en todos los espacios de alojamiento, de servicio y puestos de control. En cada salida de los espacios a proteger habrá un avisador de accionamiento manual. En los pasillos de cada cubierta habrá avisadores de accionamiento manual fácilmente accesibles, de manera que ninguna parte del pasillo diste más de 20 m de uno de dichos avisadores.

Se dispondrán detectores de incendio en todos los espacios a proteger. La disposición de los mismos será la adecuada para proteger todo el espacio: situados en los techos de los locales, alejados de las corrientes de aire (salidas de ventilación) y a una distancia de acuerdo con la siguiente tabla:

TIPO DE DETECTOR	Superficie máxima de piso abarcada por detector	Distancia máxima entre centros	Distancia con respecto a los mamparos	
			Mínima	Máxima
Calor	37 m <sup>2</sup>	9 m	0,5 m	4,5 m
Humo	74 m <sup>2</sup>	11 m	0,5 m	5,5 m

*Tabla 5. Disposición de los detectores automáticos de incendios*

### 2.2.2. Sistema de contra incendios con agua salada

El sistema consiste en una red de tuberías que toma el agua salada del mar y la distribuye por todos los locales a proteger del buque, disponiendo en ellos los medios adecuados para proyectar el agua de forma adecuada sobre cualquier incendio que se produzca a bordo.

Los elementos de este sistema son las tomas de mar, bombas de contra incendios, circuito de contra incendios, bocas de contra incendios, mangueras de contra incendios, conexión internacional a tierra y sistema de presurización.

La longitud de las mangueras deberá ser como mínimo de 10 metros y como máximo de 15 metros en espacios de maquinaria y de 20 metros en otros espacios y cubiertas expuestas. Cada manguera dispondrá en el extremo de salida de una lanza de contra incendios, cuya función es controlar la salida de agua.



En el Cuaderno 7 se hicieron los cálculos del número de bombas contra incendios necesarias y su capacidad, llegándose a la conclusión de instalarse **2 bombas** contra incendios de **50 m<sup>3</sup>/h** de capacidad cada una.

Cada bomba cumple con:

- Caudal mayor de 25 m<sup>3</sup>/h.
- Podrá suministrar agua a dos bocas contra incendios simultáneamente.
- Capacidad será mayor de:

$$Q_{bombCI} > 80\% \cdot \frac{QCI}{N_{bombas}}$$

La bomba de contra incendios de emergencia tendrá una capacidad de 25m<sup>3</sup>/h.

El número y posición de las bocas contra incendios deberán cumplir con los siguientes criterios:

- Se debe poder atacar cualquier punto del local con al menos dos chorros de agua que no procedan de la misma boca contra incendios. Para ello una de ellas podrá disponer de dos mangueras unidas.
- Uno de estos chorros de agua podrá estar conectado a una boca contra incendios que se encuentre en un local adyacente, siempre que no se deba acceder a través de una puerta estanca (estará cerrada en caso de emergencia) o pertenezcan a espacios verticales de contra incendios distintos.
- Se dispondrán cerca de los accesos al local, de forma que se garantice la seguridad durante las operaciones de extinción.

El número de mangueras depende del tipo y tamaño del buque. Al considerar al buque proyecto como buque de carga con un arqueo bruto mayor de 1000 t, se debe disponer 1 manguera por cada 30 metros de eslora más una de reserva. El número total no será nunca menor de 5, sin incluir las de cámaras de máquinas, donde habrá al menos una boca de contra incendios con su correspondiente manguera.

### 2.2.3. Sistema de contra incendios con rociadores

Se trata de un sistema capaz de proyectar agua de forma uniforme y en cantidad suficiente sobre el piso del espacio a proteger, para extinguir un incendio.

Tal como indica el SOLAS en la Regla 10.6.2, Dispositivos de extinción de incendios en puestos de control espacios de alojamiento y espacios de servicio, en los buques de carga para los que se adopte el método IIC especificado en la regla 9.2.3.1.1.2 se instalará un sistema automático de rociadores, de detección de incendios y de alarma contra incendios de conformidad con lo prescrito en la regla 7.5.5.2.

El sistema debe cumplir con las siguientes características:

- Alimentado con agua dulce, con el fin de proteger el mobiliario y equipo, aunque es obligatorio que todos los sistemas de rociadores que utilizan agua dulce como agente inicial, una vez agotada sean capaces de utilizar agua salada para continuar la extinción.
- Circuito presurizado, el sistema de tuberías estará lleno de agua dulce y a presión de modo que, en caso de incendio, la proyección de agua sea inmediata.
- Automático, el sistema debe actuar de forma automática en presencia de un incendio sin que sea necesaria la intervención humana.
- Todos los equipos de suministro de agua del sistema deben estar situados fuera del espacio a proteger.

Existen dos tipos de sistemas automáticos de rociadores en función de la presión del circuito: sistema automático de rociadores de baja presión, alrededor de 6 bar; y sistema automático de rociadores de alta presión, alrededor de 100bar.

Se opta por instalar en el buque proyecto un sistema de baja presión, el cual estará compuesto por los siguientes elementos:

- *Tanque de agua dulce.* Tanque presurizado donde se almacena el agua dulce que se va a utilizar para extinguir el incendio. Mantendrá la presión en todo el circuito.
- *Bomba de agua salada.* Bombea agua salada al circuito del sistema. Arrancará de forma automática cuando la presión del circuito disminuya al agotarse el agua dulce.
- *Circuito de rociadores.* Red de tuberías que distribuye el agua desde el sistema de impulsión hasta los rociadores.
- *Rociador automático.* Elemento situado en las salidas de agua del circuito, que garantiza una distribución uniforme y en cantidad adecuada. Su número y disposición será la adecuada para cubrir todo el espacio a proteger.

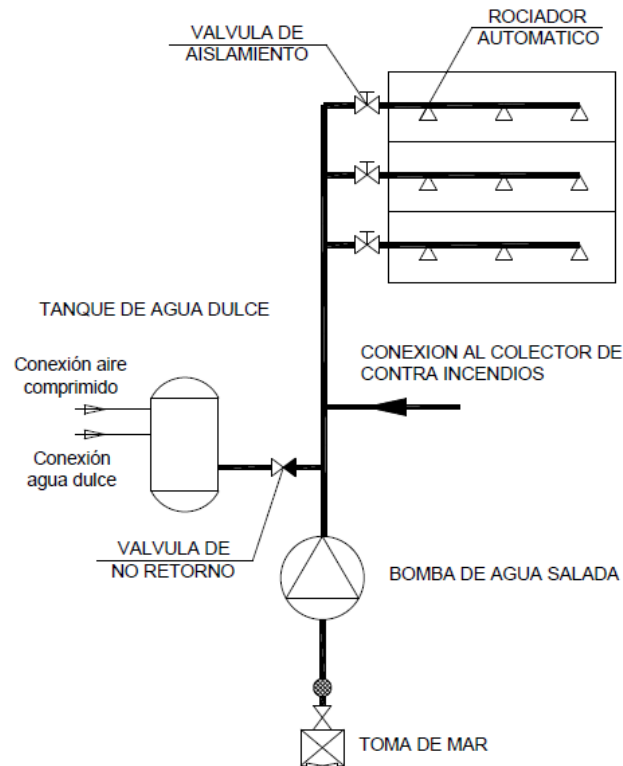


Figura 3. Sistema automático de rociadores de baja presión

El sistema debe ser capaz de suministrar un caudal de agua de 5 l/min por metro cuadrado de superficie a proteger. El caudal se dimensiona para el espacio mayor a proteger, una vez dividido el bloque de acomodación en zonas separadas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Cada cubierta marca zona separadas, por lo tanto dos zonas no pueden pertenecer a la misma cubierta.
- Una zona no puede incluir espacios que se encuentren en zonas verticales de contra incendios diferentes.
- Una zona no puede incluir más de 200 rociadores.

Teniendo en cuenta estos criterios y que las áreas a proteger son menores de  $280\text{m}^2$  (que es el área mínima de superficie a proteger), se tomará dicha cifra como área mínima para el dimensionamiento de caudal de rociadores necesario:

$$Q_{roc} = 5 \frac{l}{min \cdot m^2} \cdot A_{proteger} = 5 \frac{l}{min \cdot m^2} \cdot 280\text{m}^2 = 1400 \frac{l}{min} = 84 \frac{m^3}{h}$$

Para dimensionar el tanque de agua dulce, se tiene en cuenta una capacidad adecuada para extinguir la mayoría de los incendios, como mínimo un volumen igual al doble de la carga necesaria para mantener el flujo de agua necesaria en los rociadores durante un minuto:

$$V_{FW_{roc}} = 2 \cdot Q_{roc} \cdot 1min = 2 \cdot 1400 \frac{l}{min} \cdot 1min = 2800l = 2,8m^3$$

La bomba de agua salada tendrá una capacidad suficiente para mantener el flujo continuo de agua necesario en los rociadores:

$$Q_{sw_{roc}} = 5 \frac{l}{min \cdot m^2} \cdot A_{proteger} = 5 \frac{l}{min \cdot m^2} \cdot 280m^2 = 1400 \frac{l}{min} = 84 \frac{m^3}{h}$$

Siguiendo con la estimación hecha en el apartado 6 del Cuaderno 7 para el cálculo de la potencia de las electrobombas, se deduce que se requiere una bomba de agua salada de 25 kW

#### 2.2.4. Sistema de contra incendios con gas

Para extinguir incendios en locales cerrados se pueden utilizar gases con bajo contenido en oxígeno que, al liberarse dentro del local, reducen el contenido de oxígeno en el espacio y, por lo tanto, sofoca el incendio.

La ventaja principal de la utilización de gas como agente extintor es que no daña los equipos que se encuentren dentro del local. Por el contrario, el peligro radica en que, al reducirse el contenido de oxígeno en el local, hace imposible que una persona sobreviva en su interior.

El buque proyecto dispondrá de un sistema fijo de extinción por CO<sub>2</sub>, en los espacios indicados por el Convenio SOLAS en la Regla 10 del Capítulo II-2:

- *Espacios de máquinas que contienen calderas alimentadas con combustible líquido o instalaciones de combustible líquido.* Los espacios de categoría A para máquinas que contengan calderas alimentadas con combustible o instalaciones de combustible estarán provistos de uno cualquiera de los sistemas fijos de extinción de incendios indicados en el párrafo 4.1.
- *Espacios de carga.* Los espacios de carga de los buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 2000 toneladas estarán protegidos por un sistema fijo de extinción de incendios por gas que cumpla lo prescrito en el Código de sistemas de seguridad contra incendios, o por un sistema de extinción de incendios que ofrezca una protección equivalente.
- *Cámara de bombas de carga.* Cada una de las cámaras de bombas de carga estará provista de un sistema de anhídrido carbónico que cumpla lo prescrito en el Código de sistemas de seguridad contra incendios, accionado desde un punto de fácil acceso situado fuera de la cámara. Las cámaras de bombas de carga estarán provistas de un sistema que sea adecuado para los espacios de categoría A para máquinas.

El sistema estará compuesto por:

- *Botellas de gas.* El gas se almacena en botellas individuales diseñadas para soportar la presión a la que se almacene el gas extintor. Las botellas estarán dispuestas en un espacio externo a la cámara de máquinas.
- *Cabina de control.* El sistema de gas dispondrá de una cabina de control fuera del local a proteger desde donde se controla el accionamiento del sistema.
- *Circuito de gas.* Lo forman los siguientes elementos:
  - *Colector de gas:* Las botellas descargarán a un colector común que será el que distribuye el gas hasta el local a proteger. En este colector se dispondrán los siguientes elementos:
    - Manómetro, controla la presión de gas.
    - Conexión de aire comprimido, para prueba del sistema.
    - Válvula de seguridad, para controlar una sobrepresión de gas en el circuito.
  - *Válvula maestra.* Cada local a proteger dispondrá de una válvula maestra que controla la descarga del gas al local.
  - *Distribución de gas.* Dentro de cada local se dispondrán las tuberías de forma que se garantice una descarga uniforme del gas.
  - *Boquillas de gas.* Elemento situado en las tuberías de distribución y por el que se libera el gas, garantiza una distribución adecuada del mismo.
  - *Alarma acústica y luminosa.* Cada local dispondrá de alarmas para indicar que se va a proceder a liberar el gas, de forma que las personas en su interior puedan abandonar el local.

Debido a la peligrosidad del sistema, su accionamiento no será automático sino que se controlará de forma manual. El proceso de accionamiento del sistema se realiza de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Detección del incendio e identificación del espacio, ya sea de forma automática (detector) o de forma manual (actuador).
2. Se activa la alarma acústica y luminosa del local correspondiente.
3. Abertura de las válvulas de raíz de las botellas de gas y descarga de éste al colector de gas.
4. Transcurre un tiempo de demora antes de liberar el gas, para garantizar que las personas hayan podido salir del local.

5. Todas las aberturas y entradas de aire se cierran de forma remota, para garantizar que el gas no se escape ni entre aire del exterior que enriquezca la mezcla.
6. Se abre la válvula maestra correspondiente al local donde se detectó el incendio.
7. Se libera el gas en el interior del local a través de las boquillas.

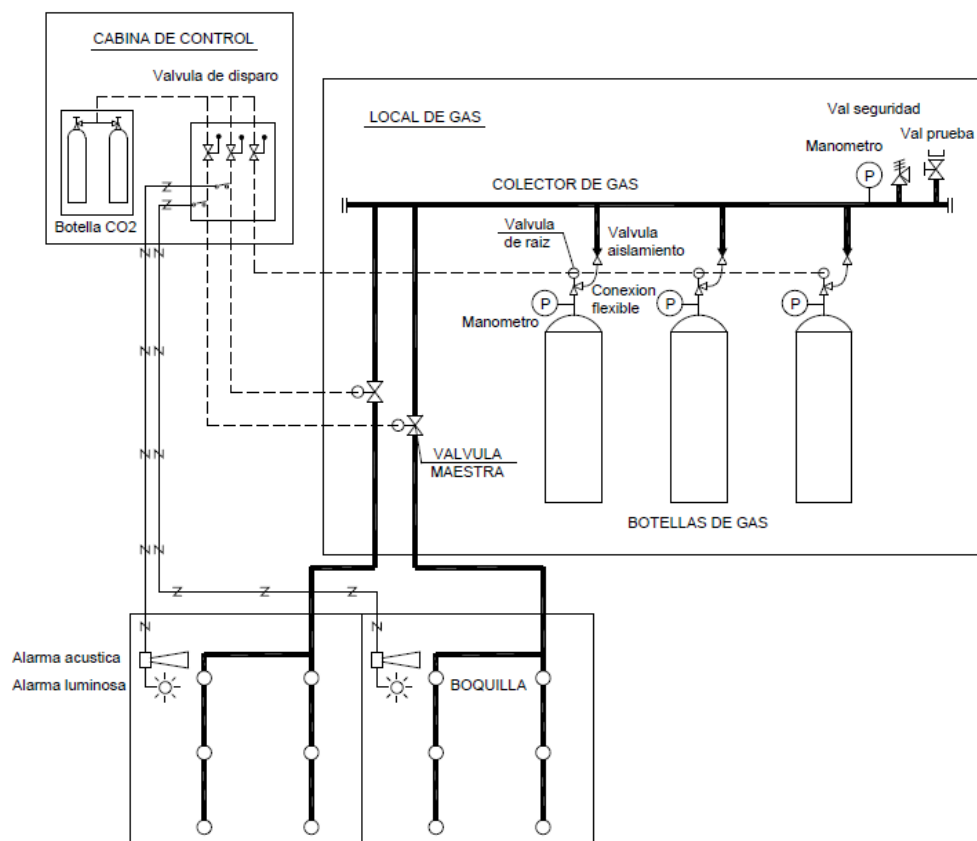


Figura 4. Sistema de contra incendios con gas

El sistema se dimensiona con una capacidad de gas suficiente para inundar el espacio de cámara de máquinas o bodega de carga.

Para los espacios de cámara de máquinas se tomará el mayor de los siguientes criterios:

- 35% de la suma de los volúmenes de la cámara de máquinas y del guardacalor.
- 40% de la suma de los volúmenes de la cámara de máquinas y el volumen del guardacalor por debajo de la sección cuya área es igual al 40% del área de la cámara de máquinas.

El criterio más exigente es el primero de ellos, por lo que, al ser el volumen de la cámara de máquinas  $4196 \text{ m}^3$  y el del guardacalor  $360 \text{ m}^3$ , el volumen total de gas para el sistema de contra incendios de la cámara de máquinas es de:

$$V_{gas} = 35\%(V_{cam\ máq} + V_{guardacalor}) = 35\%(4196m^3 + 360m^3) \approx \mathbf{1600m^3}$$

Para los espacios de carga o bodegas se llevara a bordo como mínimo un volumen de gas igual al 30% del volumen del mayor espacio de carga a proteger, 2520 m<sup>3</sup>:

$$V_{gas} = 30\% \cdot V_{may} = 30\% \cdot 2520m^3 = 756m^3 \approx \mathbf{800m^3}$$

Parte del gas que ha de llevarse para los espacios de carga se empleará exclusivamente para el local reservado al almacenamiento de las botellas de CNG. En concreto, el volumen total de ese local es 50 m<sup>3</sup>, con lo que se reservarán 20 m<sup>3</sup> de gas contra incendios.

### **2.2.5. Equipos individuales de contra incendios**

Los equipos individuales de contra incendios que se instalarán en el buque proyecto son: extintores portátiles, dispositivos lanza espuma portátiles y equipos de bombero. Los criterios de diseño para su disposición, capacidad y número vienen recogidos en la Regla 10 del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS.

#### **Extintores portátiles**

Todos los extintores cumplirán lo prescrito en el Código de sistemas de seguridad contra incendios.

Uno de los extintores portátiles destinados a ser utilizados en un espacio determinado estará situado cerca de la entrada a dicho espacio.

- *Espacios de acomodación.* No habrá extintores de incendio a base de anhídrido carbónico en los espacios de alojamiento. En los puestos de control y demás espacios que contengan equipo eléctrico o electrónico o dispositivos necesarios para la seguridad del buque, se proveerán extintores cuyo agente extintor no sea conductor de la electricidad ni pueda dañar el equipo y los dispositivos. Los espacios de alojamiento y de servicio y los puestos de control estarán provistos de extintores portátiles de un tipo apropiado y en un número suficiente que sean satisfactorios a juicio de la Administración. En buques de arqueo bruto igual o superior a 1000 toneladas el número de extintores portátiles no será inferior a cinco.
- *Espacios de maquinaria.* Se deberán ubicar en la cámara de máquinas extintores de espuma de 45 litros de capacidad como mínimo, en número suficiente para que la espuma o el producto equivalente puedan alcanzar cualquier parte del sistema de

lubricación a presión. Además habrá un número suficiente de extintores portátiles de espuma de modo que no sea necesario andar desde ningún punto del espacio de que se trate más de 10 m para llegar a ellos, debiendo haber por lo menos dos de estos extintores en cada uno de tales espacios.

Los extintores de incendio estarán listos para su utilización y situados en un lugar visible que pueda alcanzarse rápida y fácilmente en todo momento en caso de incendio, y de modo que su utilidad no se vea afectada por las condiciones meteorológicas, las vibraciones o factores externos. Los extintores portátiles dispondrán de dispositivos que indiquen si se han utilizado.

Se proveerán cargas de respeto para el 100% de los 10 primeros extintores y para el 50% del resto de los extintores que se puedan recargar a bordo. No se necesitan más de 60 cargas de respeto. Las instrucciones para recargarlos se llevarán a bordo.

En el caso de extintores que no se pueden recargar a bordo, en lugar de cargas de respeto se proveerá la misma cantidad de extintores portátiles adicionales del mismo tipo y capacidad

### **Dispositivos lanza espuma portátiles**

Equipo capaz de generar espuma contra incendios para lucha de fuegos de hidrocarburos. El extintor podrá trasladarse fácilmente y conectarse a cualquier boca contra incendios de agua salada para generar espuma.

Se ubicará un extintor de este tipo en la cámara de máquinas.

### **Equipos de bombero**

Se entiende por equipo de bombero la equipación mínima por reglamentación de la que debe disponer el personal encargado de extinguir un incendio:

- Indumentaria de protección: protege contra quemaduras y el calor y debe ser impermeable en su parte exterior.
- Botas y guantes: de goma y no electroconductores.
- Casco: para proteger de golpes en la cabeza.
- Hacha.
- Linterna.
- Aparato respiratorio: ya sea una manguera conectada al exterior o equipo autónomo con autonomía para al menos 30 minutos.

A bordo del buque proyecto se dispondrá al menos de un total de 2 equipos de bombero.



## 2.2.6. Protección pasiva contra incendios

La protección pasiva contra incendios se refiere a las características de resistencia al fuego de los mamparos y cubiertas del buque que tiene como principales objetivos:

- Impedir que el fuego se propague, restringiéndolo a la zona donde se ha producido y permitiendo de este modo su extinción.
- Protección especial de ciertas áreas contra incendios exteriores: zona de habilitación, vías de evacuación o acceso, equipos de salvamento y abandono del buque o equipos esenciales del buque.
- Aislar zonas de alto riesgo de incendio: espacios de maquinaria, tanques de combustible, etc.

Existen para cada tipo de buque y tamaño dos tablas, una para la integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes y otra para la integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes. Se determina el tipo de división necesaria tanto en los mamparos como en las cubiertas en función de la categoría del propio espacio y en función de la categoría del espacio adyacente.

En el caso de la tabla de mamparos el tipo de división no depende de la posición de los espacios, es decir, si los espacios son adyacentes por estribor, babor, proa o popa. Sin embargo, en el caso de las cubiertas, el tipo de división sí depende de la posición vertical de los espacios, es decir, qué espacio está por encima o por debajo. Esto se debe a la tendencia del fuego a propagarse hacia arriba.

Mamparos que separan espacios adyacentes

Espacios	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Puestos de control	(1)	A-0 <sup>e</sup>	A-0	A-60	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60	A-60	*	A-60
Pasillos	(2)		C	B-0	A-0 <sup>c</sup> B-0	B-0	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Alojamientos	(3)			C <sup>ab</sup>	A-0 <sup>c</sup> B-0	B-0	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Escaleras	(4)				A-0 <sup>c</sup> B-0	A-0 <sup>c</sup> B-0	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)				C	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	*	A-0
Espacios de categoría A para máquinas	(6)						*	A-0	A-0 <sup>g</sup>	A-60	*	A-60
Otros espacios de maquinas	(7)							A-0 <sup>d</sup>	A-0	A-0	*	A-0
Espacios de carga	(8)								*	A-0	*	A-0
Espacio de servicio (riesgo elevado)	(9)									A-0 <sup>d</sup>	*	A-30
Cubiertas expuestas	(10)											A-0
Espacios de carga de los buques de transbordo rodado	(11)											<sup>ah</sup>

<sup>e</sup> Los mamparos que separen entre sí la caseta de gobierno, el cuarto de derrota y el cuarto de radio podrán ser de tipo B-0

<sup>c</sup> Para determinar el tipo aplicable en cada caso ver reglas 43 y 46

<sup>a</sup> Los mamparos no estarán sujetos a ninguna prescripción especial si se emplean los métodos de prevención de incendios IIC y IIIC

<sup>b</sup> El método IIIC obliga a colocar mamparos de la clase B, del tipo de integral al fuego B-0, entre espacios o grupos de espacios que ocupen una superficie de 50 m o mas

<sup>g</sup> Respecto a los espacios de carga en los que se proyecte transportar mercancías peligrosas o si se están éstas como máximo a 3 m de distancia, medida ésta horizontalmente, de dicho mamparos

<sup>f</sup> Cabrá utilizar mamparos del tipo A-0 si no se proyecta transportar mercancías peligrosas o si se están éstas como máximo a 3 m de distancia, medida ésta horizontalmente, de dicho mamparos

<sup>d</sup> Si se tratan de espacios de la misma categoría numérica solo se exigirán mamparos o cubiertas del tipo indicado en la tabla cuando los espacios adyacentes estén destinados a un fin distinto.

<sup>h</sup> Los mamparos y cubiertas que separen espacios de carga en los buques de transbordo rodado se deberán poder cerrar de modo que sean suficientemente herméticos y tendrán integridad de clase A.

\* La división habrá de ser de acero u otro material equivalente, pero no necesariamente de clase A.

Tabla 6. Tabla 9.5 del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS

Cubiertas que separan espacios adyacentes

Espacio inferior ↓	Espacio superior →	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Puestos de control	(1)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-60
Pasillos	(2)	A-0	*	*	A-0	*	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Alojamientos	(3)	A-60	A-0	*	A-0	*	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Escaleras	(4)	A-0	A-0	A-0	*	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-30
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)	A-15	A-0	A-0	A-0	*	A-60	A-0	A-0	A-0	*	A-0
Espacios de categoría A para máquinas	(6)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	*	A-60 <sup>f</sup>	A-30	A-60	*	A-60
Otros espacios de máquinas	(7)	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	*	A-0	A-0	*	A-0
Espacios de carga	(8)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	*	A-0	*	A-0
Espacio de servicio (riesgo elevado)	(9)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0 <sup>d</sup>	*	A-30
Cubiertas expuestas	(10)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*
Espacios de carga de los buques de transbordo rodado	(11)	A-60	A-30	A-30	A-30	A-0	A-60	A-0	A-0	A-30	*	* <sup>h</sup>

<sup>f</sup> Cabrá utilizar mamparos del tipo A-0 si no se proyecta transportar mercancías peligrosas o si se están éstas como máximo a 3 m de distancia, medida ésta horizontalmente, de dicho mamparo.

<sup>d</sup> Si se tratan de espacios de la misma categoría numérica solo se exigirán mamparos o cubiertas del tipo indicado en la tabla cuando los espacios adyacentes estén destinados a un fin distinto.

<sup>h</sup> Los mamparos y cubiertas que separen espacios de carga en los buques de transbordo rodado se deberán poder cerrar de modo que sean suficientemente herméticos y tendrán integridad de clase A.

\* La división habrá de ser de acero u otro material equivalente, pero no necesariamente de clase A.

Tabla 7. Tabla 9.6 del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS

Los mamparos no estarán sujetos a ninguna prescripción especial si se emplean los métodos IIC y IIIC de prevención de incendios.

Para los mamparos situados dentro de las zonas de alojamiento, según el método IIC, que es el que sigue el buque proyecto, la construcción de los mamparos de los buques de carga que de acuerdo con ésta u otras reglas no hayan de ser necesariamente divisiones de clase "A" o "B" no estará sujeta a ninguna restricción, salvo en casos concretos en que se exijan mamparos de clase "C" de conformidad con la tabla 9.5.

## 2.2.7. Evacuación

En la Parte D del Capítulo II-2 del Convenio SOLAS se indican las prescripciones relativas a la evacuación de las personas a bordo del buque.

Se debe informar de un incendio a la tripulación y a los pasajeros para efectuar una evacuación segura. Para este fin se prescribirá la instalación de sistemas generales de alarma y megafónicos de emergencia. Para notificar un incendio a la tripulación y a los pasajeros se utilizará el sistema general de alarma de emergencia prescrito en la regla III/6.4.2.

Se proveerán vías de evacuación seguras, que deberán mantenerse en condiciones seguras, libres de obstáculos, y, además, se proveerán ayudas adicionales para la evacuación según sean necesarias para garantizar el acceso, el marcado claro y el diseño adecuado para las situaciones de emergencia.

Estarán disponibles a bordo cuadernillos de operaciones de seguridad contra incendios y se controlarán las emisiones de vapores inflamables del sistema de respiración de los tanques de carga.

El manual de seguridad contra incendios prescrito incluirá la información y las instrucciones necesarias para la explotación del buque y la manipulación de la carga en relación con la seguridad contra incendios. El manual incluirá información sobre las responsabilidades de la tripulación por lo que respecta a la seguridad contra incendios general del buque durante las operaciones de carga y descarga y la navegación. Se explicarán las precauciones de seguridad contra incendios necesarias para manipular cargas generales.

Habrá un manual de seguridad contra incendios en cada comedor y sala de recreo de la tripulación o en cada camarote de la tripulación. El manual de seguridad contra incendios estará escrito en el idioma de trabajo de a bordo.

### **2.3. Sistemas de salvamento**

A la hora de realizar este apartado, en el que se definen los dispositivos y medios de salvamento que debe incorporar el buque durante su operación, se han seguido las indicaciones expuestas en el Capítulo III del Convenio SOLAS.

Para calcular los tipos, capacidad y número de los equipos de salvamento se deben considerar los siguientes criterios:

- Tipo de buque: carga, pasaje o pesquero.
- Número de personas a bordo (45 personas).
- Dimensiones del buque.
  - Eslora total (85 m).
  - Arqueo bruto (5945 GT t).

Como se explicó en el cuaderno 1, según la Resolución A.534(13) de la OMI “*Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*”, se define como buque para fines especiales aquel buque de arqueo bruto no inferior a 500 toneladas que lleva a bordo más de 12 personas especiales incluidos los pasajeros. Personal especial es toda persona que no siendo pasajero, tripulante, ni niño de menos de un año, van a bordo por estar relacionados con las funciones especiales propias del buque o con la realización de alguna tarea especial que se esté llevando a cabo a bordo del mismo. Los buques para fines especiales que lleven ese personal no necesitan ser considerados ni tratados como buques de pasaje.

En consecuencia, las personas que transporta el buque proyecto se consideran como “personas especiales” y habrá que aplicar esta Resolución de la OMI.

Se debe tener en cuenta que, al ser el buque proyecto un buque para fines especiales que lleva a bordo un contingente de personas menor o igual a 50 miembros, deberá cumplir con los requerimientos de buque de carga que no sean buques tanques.

### 2.3.1. Equipos individuales de salvamento y rescate

Dentro de estos equipos se incluyen los siguientes:

- **Chalecos salvavidas:** Se debe llevar 1 chaleco salvavidas por persona más chalecos suficientes para realizar la guardia y para su utilización en los puestos de supervivencia muy distantes. Son de uso individual estibados en los camarotes. En total 55 chalecos rígidos de adulto.
- **Trajes de inmersión:** Protegen a la persona sumergida en el agua. Habrá 1 traje de inmersión o de protección a la intemperie por cada persona designada como tripulante de un bote de rescate o rampa de evacuación. Por lo tanto, 4 trajes de inmersión.
- **Trajes de protección contra la intemperie:** Su función es proteger a los tripulantes del bote de rescate fuera y dentro del agua durante las operaciones de salvamento y evacuación. Al igual que antes, habrá 4 trajes de protección contra la intemperie.
- **Ayudas térmicas:** Protegen a la persona fuera del agua en una balsa o bote. Se llevarán en el buque 41 ayudas térmicas.
- **Aros salvavidas:** Se emplean en las operaciones de hombre al agua para permitir recuperar a una persona del agua y que se mantenga a flote. Los elementos de señalización que llevan algunos de estos aros son, tanto para localizar a la persona, como para que el hombre en el agua localice el aro.

En total debe haber 8 aros salvavidas:

- Con rabiza flotante (longitud  $2 H_{\text{estiba}}$  mayor de 30 m). 2, uno a cada banda.
- Con artefacto luminoso, al menos la mitad de los aros, es decir 4:
  - Con artefacto luminoso 2 (no serán los que dispongan de rabiza flotante. Distribuidos a ambas bandas).
  - Con artefacto luminoso y señales fumígenas: 2 (dispondrán de suelta rápida desde el puente de navegación).
- **Aparatos lanzacabos:** 1 aparato lanzacabos.
- **Cinturón de rescate:** Permite izar a bordo de forma segura a una persona que está en el agua.

### 2.3.2. Elementos de señalización

Estos equipos incluyen bengalas de mano, cohetes lanzabengalas con paracaídas y señales fumígenas flotantes, además de aparato radiotelefónico bidireccional de ondas métricas, respondedor de radar y lámpara de señales.

- **Cohetes lanzabengalas con paracaídas:** En el capítulo III de SOLAS se indica que se deben llevar por lo menos 12 cohetes lanzabengalas con paracaídas, estibados en el puente de navegación o cerca.
- **Aparato radiotelefónico bidireccional de ondas métricas:** 3 aparatos portátiles.
- **Respondedor de radar:** 2 respondedores de radar (uno a cada banda). Estarán estibados en lugares desde los que se puedan colocar rápidamente en cualquier embarcación de supervivencia que no sean balsas dispuestas a proa o popa para cubrir una distancia de 100m.
- **Lámpara de señales:** 1 lámpara de señales portátil disponible permanentemente y que no dependa de la energía del buque.

### 2.3.3. Embarcaciones de supervivencia y de rescate

El buque proyecto llevará balsas salvavidas como embarcaciones de supervivencia y un bote de rescate.

- **Balsas salvavidas:** Se proveerán balsas salvavidas, de modo que la capacidad total disponible a cada banda baste para dar cabida al 150% del número total de personas que vayan a bordo (SOLAS, Capítulo III, Regla 31, 1.3.2). Por tanto, 3 balsas salvavidas a cada banda con capacidad para 25 personas cada una. No disponen de propulsión ni gobierno. La puesta a flote es por lanzamiento y por zafa hidrostática.
- **Bote de rescate:** Un solo bote de rescate en el costado de babor de la cubierta A del tipo MOB (siglas en inglés de man over board) para 4 personas (más 1 tumbada) y equipado con motores interiores diesel y propulsión waterjet. Su pondrá a flote mediante pescante.

### 2.3.4. Medios de embarque

Se emplearán escalas como medios de embarque a embarcaciones de supervivencia. Habrá una escala de embarco en cada puesto de puesta a flote, formada por peldaños unidos en sus dos extremos por cabos.

### 2.3.5. Zona de rescate (Rescue Zone)

La zona de rescate es el área del buque designada para recibir a los supervivientes a bordo. Deberá tener las siguientes características:

- No debe tener menos de 8 metros de longitud.
- El francobordo no debe exceder de 2,5 metros.
- Se situará en la cubierta de intemperie (1ª cubierta), tan libre de obstáculos como sea posible, cerca de la acomodación y a una distancia segura de las hélices.
- Estará claramente marcada con rayas diagonales en un color que contraste con la pintura del buque y que tienen pintado las palabras “RESCUE ZONE” en el costado del buque.

### 2.3.6. Zona de rescate mediante helicóptero

Se debe disponer de una cubierta clara y del tamaño suficiente para las operaciones de emergencia con helicópteros (Emergency Helicopter Winching Area). Se dispondrá un área circular a popa de la cubierta de trabajo (1ª cubierta) que cumplirá con:

- No tendrá menos de 4,5 metros de diámetro y estará libre de obstáculos.
- Indicada con una marca amarilla.

En la siguiente tabla se resumen todos los medios y equipos de salvamento que incorpora el buque proyecto:

EQUIPO	TIPO	NÚMERO	CAPACIDAD
<b>Chalecos salvavidas</b>	Adulto, rígido	45	-
	Guardia, rígido	10	
<b>Trajes de inmersión</b>	-	5	-
<b>Ayudas térmicas</b>	-	40	
<b>Aros salvavidas</b>	Normales	2	-
	Con rabiza flotante	2	
	Con artefacto luminoso	2	
	Con artefacto luminoso y señales fumígenas	2	
<b>Embarcaciones de supervivencia</b>	Balsas salvavidas	6	25
<b>Botes de rescate</b>	Rígido, MOB	1	4 + 1 tumbada
<b>Aparato radiotelefónico</b>	Portátil	3	-
<b>Respondedor de radar</b>	-	2	-
<b>Elementos de señalización</b>	Cohetes lanzabengalas con paracaídas	12	-

<b>Aparatos lanzacabos</b>	-	1	-
<b>Lámpara de señales</b>	Portátil que no dependa de la energía del buque	1	-
<b>Medios de embarco a embarcaciones de supervivencia</b>	Escala de embarco	2	-

Tabla 8. Equipos de salvamento del buque proyecto

## 2.4. Servicios de la habitación

### 2.4.1. Acomodación

Como indican las especificaciones del proyecto, uno de los requisitos adicionales es disponer de una acomodación de 45 personas. Para ello, se han dispuesto un total de 27 camarotes por encima de la 2ª cubierta, siendo cuatro los tipos de camarotes: camarotes con capacidad para 4 personas, camarotes para 2 personas, camarotes individuales y camarotes superiores. En la siguiente tabla se indica la distribución de los camarotes en las distintas cubiertas de la zona de habitación:

<b>ESQUEMA DE CAMAROTES</b>	<b>Camarote superior</b>	<b>Camarote individual</b>	<b>Camarote 2 personas</b>	<b>Camarote 4 personas</b>	<b>TOTALES</b>
<b>CUBIERTA-D</b>	3 pers	-	-	-	3 pers
<b>CUBIERTA-C</b>	-	9 pers	-	-	9 pers
<b>CUBIERTA-B</b>	-	3 pers	18 pers	4 pers	25 pers
<b>CUBIERTA-A</b>	-	-	-	-	-
<b>1ª CUBIERTA</b>	-	-	-	8 pers	8 pers
<b>TOTALES</b>	3 pers	12 pers	18 pers	12 pers	<b>45 pers</b>

Tabla 9. Esquema de los camarotes en la zona de la habitación

El puente de gobierno se sitúa en la cubierta puente, a 24,20 metros de la línea de base. Esta cubierta llega hasta la manga máxima del barco y en ella se disponen los sistemas y equipos necesarios para la navegación, paneles centrales de detección y de alarmas contra incendios y, en la parte de proa, los equipos para el manejo remoto de las grúas.

Por debajo del puente, en la cubierta D se sitúan tres camarotes superiores, con un estándar más alto que los demás camarotes del buque, reservados para el capitán, el primer oficial y el primer oficial de máquinas. El resto de la tripulación fija del buque proyecto, en total 20 personas, como se dijo en el cuaderno 4, tendrá sus camarotes ubicados entre la cubierta C y la B. Por otro lado, el personal de las plataformas ocupará el resto de camarotes del buque en la cubierta B y en la 2ª cubierta.

La cubierta A no dispone de camarotes debido a que es el espacio dedicado a alojar dos salones, el comedor, la cocina, gambuza seca y la gambuza refrigerada.

En la primera cubierta se ha instalado una sauna y un gimnasio, además de ser la cubierta en la que se encuentran los locales de lavandería, secadora y plancha, los vestuarios del buque y la enfermería.

A la hora de hacer todo el diseño de la acomodación se ha tratado de facilitar el confort de la tripulación, con espacios cómodos, facilidad de movimientos, confort adecuado, etc. Como se ha explicado en el apartado anterior de sistemas contra incendios, todos los mamparos deben cumplir con la normativa del Convenio SOLAS según el método IIC, que es el que se aplica en el buque proyecto.

El estándar o grado de confort aplicable en el buque en diseño se suele medir por los metros cuadrados por tripulante y el tipo de camarotes y de los aseos, individuales, dobles, etc. Los mínimos están fijados por reglamentos nacionales e internacionales.

#### **2.4.2. Sistema de climatización**

En toda la zona de habilitación del buque proyecto se dispone de un sistema de climatización que permite mantener unas condiciones de temperatura interior, humedad relativa y renovación del aire adecuadas para la comodidad de las personas dentro de esos espacios. Los conductos de ventilación deben cumplir con los requisitos de la normativa, Convenio SOLAS.

Se instalará en el buque proyecto una unidad de aire acondicionado, la cual debe ser capaz de tomar el aire del exterior, tratarlo y hacerlo circular por todos los espacios a climatizar. Puede disponer de los siguientes elementos: ventilador, para impulsar la circulación del aire; enfriador de aire, con serpentín de líquido refrigerante; calentador de aire mediante agua, electricidad o vapor; fire dämpers; filtros, de polvo, polen, etc.; humidificador, para controlar la humedad del aire; y, silencioso, para la reducción del ruido. El aire del hospital y los aseos comunes no se recirculará.

La unidad de aire acondicionado para la habilitación se ubica en la zona de estribor de la cubierta D. Para la climatización del puente de gobierno se dispone de otra unidad independiente situada en la cubierta Castillo.

Para estimar la potencia de la unidad de aire acondicionado del sistema de climatización, al ser la zona de operación del buque proyecto el mar Cantábrico, se han considerado unas condiciones exteriores de 15 °C de temperatura y una humedad relativa del 80%.

A continuación, se agrupan los locales por tipo y temperatura del local. En cada local se define la temperatura que se debe mantener en ellos,  $T_{\text{local}}$ , para lo cual, la temperatura de salida a través de la rejilla de ventilación debe ser 2°C menor y la de salida de la unidad de aire acondicionado otros 2°C menos para compensar las pérdidas



por distribución. La temperatura de salida de la unidad de aire acondicionado se denomina  $T_{A/C}$ .

Al recircularse el aire a la unidad de aire acondicionado, se considera que se renueva un tercio del mismo, con lo cual, la temperatura de entrada en la unidad de A/C será igual a:

$$T_M = \frac{1}{3} \cdot T_{exterior} + \frac{2}{3} \cdot T_{local}$$

La potencia necesaria sigue la siguiente expresión:

$$P = Q_{req} \cdot \rho_{aire} \cdot c_e \cdot (T_{A/C} - T_M)$$

- P: potencia de refrigeración (kW).
- $Q_{req}$ : caudal de aire necesario, dado por el número de renovaciones cada hora ( $m^3/h$ ).
- $\rho_{aire}$ : densidad del aire a 15 °C ( $1,23 \text{ kg}/m^3$ ).
- $C_e$ : calor específico del aire ( $1010 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ ).
- $T_{A/C}$ : temperatura de salida de la unidad de aire acondicionado.
- $T_M$ : temperatura de entrada en la unidad de A/C.

Compartimento	Volumen ( $m^3$ )	Renovaciones	Q ( $m^3/h$ )	$T_{local}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{A/C}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_M$ ( $^\circ\text{C}$ )	P (kW)
<b>Cubierta D</b>							
Oficina	123,4	15	1851	21	17	19	1,28
Camarotes	340	15	5100	20	16	18,3	4,05
WC	18,5	20	370	18	14	17	0,38
Pasillos	74,3	20	1486	18	14	17	1,54
<b>Cubierta C</b>							
Camarotes	441,2	15	6618	20	16	18,3	5,25
WC	60	20	1200	18	14	17	1,24
Pasillos	89,4	20	1788	18	14	17	1,85
<b>Cubierta B</b>							
Camarotes	421,2	15	6318	20	16	18,3	5,02
WC	79,5	20	1590	18	14	17	1,65
Pasillos	142,6	20	2852	18	14	17	2,95
<b>Cubierta A</b>							
Salones	220	15	3300	21	17	19	2,28
Pasillos	23,1	20	462	18	14	17	0,48
Comedor	127	15	1905	21	17	19	1,32
Cocina/Gambuzas	303	20	6060	18	14	17	6,27
<b>1ª Cubierta</b>							
Camarotes	72	15	1080	20	16	18,3	0,86
WC	13,2	20	264	18	14	17	0,27
Pasillos	25	20	500	18	14	17	0,52
Vestuarios/Gimnasio	254,1	15	3811,5	20	16	18,3	3,03
Lavandería/Secadora	100	15	1500	20	16	18,3	1,19

Tabla 10. Valores mínimos para la refrigeración con la unidad de A/C

Se requiere, por tanto, para la calefacción de la zona de habitación del buque proyecto, una potencia mínima aproximada de **41,5 kW**.

Siguiendo este mismo razonamiento, se estima que la potencia necesaria de la unidad de aire acondicionado para el puente de gobierno debe ser de aproximadamente **8 kW**. El puente también dispone de un sistema defroster (antivaho) por aire caliente para las ventanas.

### **2.4.3. Cocina, gambuza y lavandería**

La cocina, la gambuza seca y la gambuza refrigerada se han dispuesto teniendo presente que es necesario el traslado de pesos y volúmenes importantes entre ellas y que la recepción de alimentos para ambas gambuzas debe ser lo más cómoda posible. Para el diseño y ubicación de la zona de lavandería se han tenido en cuenta los ruidos que se producen en este local y su cercanía al hospital.

- Cocina. Se sitúa en la cubierta A, quedando el comedor a babor. Los equipos de cocina que se instalarán a bordos serán: cocina eléctrica, extractor eléctrico, horno, frigorífico, freidora, cortafiambres, microondas y lavaplatos.
- Gambuza. La gambuza refrigerada se divide en cuatro cámaras con distintas temperaturas para la conservación de los distintos tipos de alimentos. Se sitúa a estribor de la cubierta A, a popa de la cocina. Habrá un congelador para carne y otro para pescado, ambos a -20 °C, además de una zona refrigerada a 4 °C y la gambuza seca, a 14 °C.
- Lavandería. En la primera cubierta se sitúan dos locales con lavadoras, secadoras y planchas de vapor.

Se debe indicar también que el buque proyecto dispone de un incinerador situado en un local junto al cuarto de basuras en la primera cubierta.

## **2.5. Sistema de alumbrado**

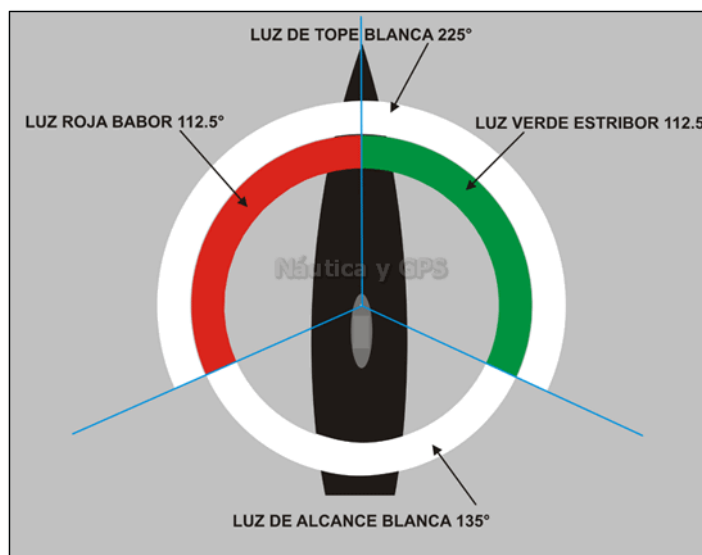
En este apartado se describen los equipos luminosos del buque proyecto, tanto los de las zonas interiores como los de las zonas exteriores del buque. Dichos elementos tendrán protección especial para resistir el ambiente marino.

Todo el alumbrado interior tendrá accionamiento local por medio de interruptores, mientras que las luces exteriores de pasillos de amurada, proyectores de luz y luces de la sala de máquinas se accionarán en su correspondiente cuadro eléctrico, alojado en el puente.

### 2.5.1. Alumbrado exterior

Todo el alumbrado exterior será estanco para prevenir posibles cortocircuitos por salpicaduras debido a mala mar. Los equipos de alumbrado exterior se clasificarán entre los siguientes tipos:

- **Iluminación de recintos exteriores.** Se trata de las luces que iluminan las cubiertas y escalas del exterior del buque.
- **Luces de navegación.** Existen muchas aplicaciones de las lámparas en las que el objetivo no es proporcionar potencia lumínica en una superficie, si no enviar una cierta información. Dentro de los buques, las más importantes son las luces de navegación, cuyo objetivo es hacer visible al buque durante la noche. Su número, posición, colores y ángulo de apertura está reglamentado, permitiendo identificar de una forma intuitiva tanto la posición como la orientación. Se tendrán en cuenta los requerimientos del Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes. La Regla 23 de este reglamento indica las luces que deben llevarse por tratarse de un buque de propulsión mecánica en navegación:
  - Luz de tope a proa, con visibilidad a 6 millas.
  - Una segunda luz de tope a popa y más alta que la de proa, con visibilidad a 6 millas.
  - Luces de costado, con visibilidad a 3 millas.
  - Una luz de alcance, con visibilidad a tres millas.



*Figura 5. Luces de navegación*

Por tratarse de un buque que puede remolcar, según la Regla 24 del reglamento, se deben llevar las siguientes luces cuando el buque proyecto se encuentre en esta operación:

- En lugar de las luces de tope descritas anteriormente, dos luces de tope en línea vertical, siendo tres luces cuando la longitud del remolque sea superior a 200 metros.
- Luces de costado.

- Una luz de alcance.
- Una luz de remolque en línea vertical y por encima de la luz de alcance.
- Una marca biónica en el lugar más visible cuando la longitud del remolque sea superior a 200 metros.
- **Luces de señales.** Son las imprescindibles para señalar determinados estados o situaciones del barco, siguiendo las reglas 27, 30, 32 del Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes.
  - Señales de maniobra y advertencia.
  - Luces de buque fondeado y buque varado.
  - Luces de buque sin gobierno o con capacidad de maniobra restringida.
- **Luces Morse.** Está constituida por un fanal situado sobre el techo del puente, accionándose desde dos pulsadores Morse en el puente de mando, y se alimenta de la red de emergencia.
- **Proyectores.** Un proyector es un tipo de luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada en dicha zona. Se disponen para el alumbrado de trabajos nocturnos y pueden ser orientables.

El consumo de potencia de todo el alumbrado exterior se estima a partir de la comparación del buque proyecto con otros buques de la base de datos del cuaderno 2. En la información técnica de diversas publicaciones de ámbito naval se facilita información sobre los equipos instalados en esos buques. Por lo tanto, se concluye que la potencia aproximada requerida para el alumbrado exterior del buque proyecto es de **14 kW**.

### 2.5.2. Alumbrado interior

Al hablar de alumbrado interior en un buque, se pueden distinguir tres tipos:

- **Alumbrado normal.** Está alimentado por los generadores principales del buque y su función es la de alumbrar los diferentes locales. La tensión será de 220 V y se alimentará de uno de los transformadores 380/220 V, con salida bifásica. Los puntos de luz interiores serán de tipo fluorescente, tanto en alojamientos como en la Cámara de Máquinas, pañoles y puente.
- **Alumbrado de emergencia.** Es el conjunto de luminarias que, con una alimentación alternativa de la principal, procedente del grupo de emergencia, sirve para iluminar las rutas de evacuación y determinados espacios del buque en caso de fallo de la planta eléctrica principal.

- **Luces de emergencia.** Las luces de emergencia son aquellas que sirven para señalizas las rutas de evacuación, guiando a los pasajeros y tripulantes desde cualquier local del buque hasta locales seguros (puestos de reunión) y desde estos hacia los puestos de embarque. Básicamente son pequeños carteles luminosos, alimentados con baterías para permitir su funcionamiento con averías de la red de distribución, estando reguladas sus características por la OMI.

El cálculo de la potencia necesaria por los equipos del alumbrado interior se detallará en el cuaderno 9, Planta eléctrica.

### **2.5.3 Alumbrado de emergencia**

Este alumbrado dispondrá de luces incandescentes situadas en los lugares vitales del buque, que se alimentarán de un grupo de baterías de 24V, que podrá mantener los puntos del alumbrado de emergencia durante 8 horas como mínimo. Estas luces se encenderán automáticamente al faltar la alimentación general a 220V. Todas las líneas y cuadros de estos servicios serán independientes del sistema de alumbrado general e irán rotuladas claramente. En el puente se dispondrá el cuadro de alumbrado de emergencia y un cargador de baterías alimentado a 220V. Se instalarán los siguientes puntos de luz:

- Pasillos y escaleras.
- Puente.
- Cámara de máquinas.
- Puntos de reunión en la cubierta de botes.
- Indicadores luminosos.
- Proyector.

## **2.6. Sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones**

El desarrollo de este apartado se ha realizado apoyándose en las indicaciones de los capítulos IV y V del Convenio SOLAS, relativos a las radiocomunicaciones y la seguridad de la navegación respectivamente.

Las comunicaciones son el conjunto de técnicas, equipos y sistemas que se utilizan en las plataformas marinas (buques, submarinos, instalaciones flotantes, etc.) para comunicarse entre sí y con estaciones en tierra. Por otro lado, el objetivo de la navegación marítima es llevar al buque de la forma más segura, rápida y económica de un punto a otro de la Tierra, para lo cual se emplea la información proporcionada por diversos equipos electrónicos.

Los equipos de ayudas a la navegación y comunicaciones que se instalen en el buque proyecto deberán ser compatibles con los demás equipos instalados en mismo, con el fin de evitar interferencias que pudieran afectar al funcionamiento de los equipos y sistemas.

Para los sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones, se estima en aproximadamente 25 kW la demanda conjunta de todos los equipos respectivos.

### **2.6.1. Sistemas de ayudas a la Navegación**

La navegación se realiza basándose en la información proporcionada por diversos equipos electrónicos, que permiten: saber dónde se encuentra el buque (a través de los sistemas de posicionamiento como el GPS y el Galileo, identificando su posición en una carta electrónica), conocer con una precisión suficiente la cinemática del buque (midiendo su velocidad con la corredera y la dirección y sentido de la marcha con el compás), tener datos sobre lo que hay en su entorno para evitar las varadas y colisiones (utilizando el sondador, radar, ARPA y AIS) y controlar los movimientos (gracias al autopiloto y los controles de los motores y hélices).

#### **2.6.1.1. Sistemas y aparatos náuticos de a bordo**

Siguiendo las prescripciones de la Regla 19 del Capítulo V del Convenio SOLAS, se instalan los siguientes equipos:

##### **Sistema de Gobierno**

- **Un taxímetro**, independiente de cualquier suministro de energía, para obtener demoras en un arco de horizonte de 360°.
- **Un compás magistral magnético** debidamente compensado, independiente de cualquier suministro de energía, para determinar el rumbo del buque y presentar los datos visualmente en el puesto principal de gobierno.
- **Un compás magnético de respeto.**
- **Un girocompás**, para determinar y presentar visualmente su rumbo por medios no magnéticos que el timonel pueda leer claramente desde el puesto de gobierno principal. Dicho medio también transmitirá información sobre el rumbo para los aparatos: radar de 9 GHz, AIS y ayuda de seguimiento automático.
- **Un repetidor del rumbo** indicado por el girocompás, para facilitar visualmente información sobre el rumbo en el puesto de gobierno de emergencia, si lo hubiere.

- **Un repetidor de las demoras** indicadas por el girocompás, para obtener demoras en un arco de horizonte de 360°, utilizando el girocompás.
- **Medios para corregir y obtener el rumbo y la demora verdaderos;**
- **Un dispositivo transmisor del rumbo debidamente ajustado,** para transmitir información sobre el rumbo para los aparatos: radar de 9 GHz, ayuda de punteo electrónica y dispositivo medidor de la velocidad y la distancia.
- **Un autopiloto,** para que el buque siga el rumbo o la trayectoria deseada de forma automática.

### **Sistema de posicionamiento**

- **Un receptor para el sistema mundial de navegación por satélite (GPS),** adecuado para determinar y actualizar en todo momento la situación con medios automáticos durante el viaje previsto.
- **Cartas y publicaciones náuticas** para planificar y presentar visualmente la derrota del buque para el viaje previsto y trazar la derrota y verificar la situación durante el viaje. Se podrá aceptar que un sistema de información y visualización de cartas electrónicas (SIVCE) satisface las prescripciones relativas a la obligación de llevar cartas náuticas.

### **Sistema anticolidión**

- **Una ecosonda,** para medir y presentar visualmente la profundidad del agua;
- **Un radar de 9 GHz,** para determinar y presentar visualmente la distancia y la demora de los respondedores de búsqueda y salvamento y de otras embarcaciones de superficie, obstrucciones, boyas, litorales y marcas terrestres que ayuden a la navegación y a evitar abordajes.
- **Un radar de 3 GHz,** para determinar y presentar visualmente la distancia y la demora de otras embarcaciones y obstrucciones de superficie y de boyas, litorales y marcas de navegación que ayudan a la navegación en general y a evitar abordajes, que serán funcionalmente independientes del radar de 9 GHz indicado antes.
- **Sistema de identificación automática, AIS (Automatic Identification System)** según se indica a continuación:
  - Proporcionarán información automáticamente a estaciones costeras y otros buques y aeronaves que

cuenten con los aparatos adecuados, tal como la identidad, el tipo, la situación, el rumbo, la velocidad y las condiciones de navegación del buque, así como otros datos relativos a su seguridad.

- Recibirán automáticamente dicha información de buques que cuenten con aparatos compatibles.
  - Vigilarán a los buques y efectuarán su seguimiento.
  - Intercambiarán datos con las instalaciones en tierra.
  - Los AIS se utilizarán teniendo en cuenta las directrices adoptadas por la OMI. Los buques provistos de un AIS lo mantendrán en funcionamiento en todo momento, salvo en los casos en que los acuerdos, reglas o normas internacionales estipulen la protección de la información náutica.
- **Una ayuda de punteo electrónica**, para trazar la distancia y demora de los blancos a fin de determinar el riesgo de abordaje.
  - **Una ayuda de seguimiento automático**, para trazar automáticamente la distancia y la demora de otros blancos a fin de determinar el riesgo de abordaje.
  - **Una segunda ayuda de seguimiento automático**, para trazar automáticamente la distancia y la demora de otro blanco a fin de determinar el riesgo de abordaje, que serán funcionalmente independientes la ayuda de seguimiento automático indicada antes.

### **Otros instrumentos de navegación**

- **Un dispositivo medidor de la velocidad (corredera) y la distancia**, para indicar la velocidad y la distancia en el agua.
- **Indicadores de la situación de la hélice, el empuje, el paso y otras modalidades de funcionamiento**, para determinar y presentar visualmente la rotación de las hélices, la potencia y dirección del empuje y, si procede, la potencia y dirección del empuje lateral y el paso y la modalidad de funcionamiento, de manera que todos ellos sean legibles desde el puesto de órdenes de maniobra.
- **Una lámpara de señales diurnas** (como se indicó en los sistemas de salvamento), para comunicarse mediante señales luminosas durante el día y la noche, que utilice una fuente de energía eléctrica que no dependa únicamente del suministro eléctrico del buque.



### **2.6.1.2. Identificación y seguimiento de largo alcance de los buques**

En este caso se siguen las prescripciones de la Regla 19-I del Capítulo V del Convenio SOLAS:

- Los buques transmitirán automáticamente la siguiente información de identificación y seguimiento de largo alcance:
  - Identidad del buque.
  - Situación del buque (latitud y longitud).
  - Fecha y hora de la situación facilitada.

### **2.6.1.3. Registrador de datos de la travesía**

Según indica la Regla 20 del Capítulo V del Convenio SOLAS, debe instalarse un registrador de datos de la travesía, es decir un VDR (Voyage Data Recorder). Su misión es registrar todos los datos importantes para la navegación, con el fin de facilitar las investigaciones en caso de siniestros.

Un equipo VDR suele incorporar 3 unidades:

- La unidad de recogida de datos, que dispone de diversas interfaces, para la conexión con los equipos de navegación. Suele disponer de una gran capacidad de almacenamiento y, aunque su misión básica es la documentación en caso de incidentes, puede utilizarse como registro de datos del barco, para su análisis de explotación o gestión de mantenimiento.
- La unidad de reproducción y evaluación. Es un terminal informático multimedia el que se pueden reproducir situaciones anteriores y preparar informes.
- La unidad de almacenamiento protegida, que va instalada en el exterior de la cubierta, en una cápsula flotante y resistente a la presión. Almacena los datos de las últimas horas en memorias de estado sólido no volátiles.

Además de todos estos equipos y sistemas, a la hora de la entrega del buque se dotará al buque proyecto con los siguientes equipos, los cuales se encontrarán en la cubierta puente: cronómetro, reloj de bitácora, barómetro, anemómetro y termómetro, compás de puntas, transportador y regla, prismáticos diurnos y nocturnos, libro con el código internacional de señales, juego de banderas del código internacional de señales, banderas nacionales, banderas de aduanas y sextante.

## 2.6.2. Comunicaciones

Los buques y plataformas tienen necesidades de comunicación tanto con el exterior como interiormente. A continuación se detallan los equipos de comunicaciones interiores y exteriores del buque proyecto, siguiendo las indicaciones del Capítulo IV de SOLAS.

### 2.6.2.1. Comunicaciones interiores y de seguridad

Las comunicaciones interiores no difieren en su concepto y tecnología de los sistemas equivalentes en tierra, basados en sistemas cableados. Las necesidades básicas son:

- Las comunicaciones de voz, entre personas, punto a punto, a través del teléfono o de la difusión de avisos por megafonía.
- La transmisión de datos entre distintos equipos a bordo.
- Las comunicaciones especiales de alta seguridad, cuyo paradigma es el telégrafo de máquinas.

Los equipos de comunicaciones interiores que se instalarán en el buque proyecto son los siguientes:

- **Telégrafo de órdenes o de máquinas.** Es un sistema redundante al de transmisión de órdenes por vía oral, de la fuerza propulsora del buque, entre el puente de gobierno y la cámara de máquinas
- **Telefonía.** Permite la comunicación directa entre personas que se encuentran en locales separados.
  - Equipo con centralita para 40 líneas y capacidad de manejar 6 llamadas simultáneas. Dispondrá de interfase para teléfonos celulares. Se sitúan las terminales en: puente de gobierno, oficina del buque, camarote del capitán, camarote del 1<sup>er</sup> oficial, camarote del 1<sup>er</sup> oficial de máquinas, taller de máquinas, sala de control de máquinas, sala del servomotor, comedor, oficina del cocinero y enfermería.
  - 20 walkie/talkies portátiles UHF.
- **Megafonía.** Se incorpora también en el buque proyecto un sistema de megafonía para dar avisos a las personas que se encuentren en espacios abiertos o moviéndose. Se instala un panel de control con micrófono en el puente de gobierno y en la oficina del buque, además de una serie de altavoces reversibles dispuestos en los siguientes espacios:

- Interiores: todos los camarotes, pasillos interiores de acomodación, vestuarios, gimnasio, enfermería, comedor, salas de estar, sala de control de máquinas, cámara de máquinas, local de propulsores y servomotor y espacio interior de carga.
  - Exteriores: puente de gobierno, a lo largo de toda la cubierta principal y zona del bote de rescate.
- **Redes de datos a bordo.** Para transmitir los datos de los distintos equipos de instrumentación y control a bordo existen redes de datos muy extensas.
- **Sistema general de alarma.** Se proveerá un sistema de alarma general de emergencia que se utilizará para convocar a pasajeros y tripulantes a los puestos de reunión e iniciar las operaciones indicadas en el cuadro de obligaciones. Este sistema estará complementado por el sistema megafónico. El sistema de alarma general de emergencia deberá ser audible en todos los espacios de alojamiento y en los espacios en los que normalmente trabaje la tripulación. Controlado desde el puente de gobierno y desde la sala de control de máquinas.
- **Sistema de alerta de seguridad, SSAS (Ship Security Alert System),** diseñado para enviar alertas de emergencia en caso de que el buque sufra algún tipo de ataque. El sistema se engloba dentro del Reglamento ISPS (International Ship and Port Security) de la IMO.

#### 2.6.2.2. Comunicaciones exteriores

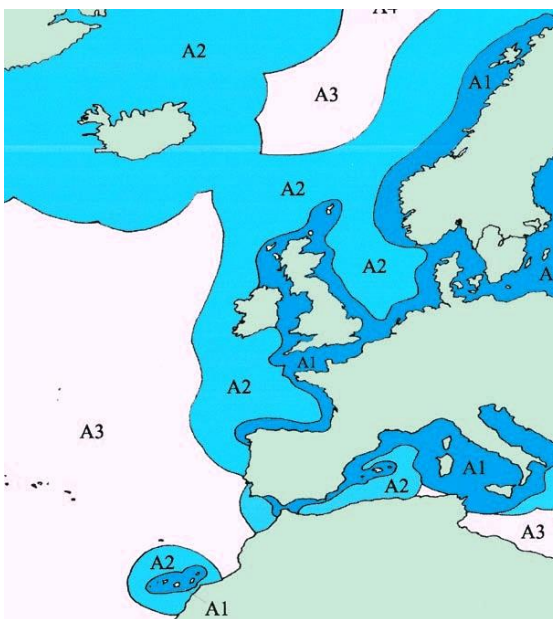
Los equipos requeridos por el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM) para las comunicaciones exteriores del buque proyecto son los siguientes:

- **Instalaciones radioeléctricas:** Todo buque ira provisto de instalaciones radioeléctricas que puedan satisfacer las prescripciones funcionales estipuladas en la regla 4 durante la totalidad del viaje proyectado.
  - **Una instalación radioeléctrica de ondas métricas** que pueda transmitir y recibir: mediante LSD en la frecuencia de 156,525 MHz. (canal 70) y mediante radiotelefonía en las frecuencias de 156,300 MHz. (canal 6), 156,650 MHz. (canal 13) y 156,800 MHz. (canal 16). Será posible iniciar la

transmisión de los alertas de socorro en el canal 70 en el puesto desde que se gobierne normalmente el buque

- **Una instalación radioeléctrica** que pueda mantener una escucha continua de LSD en el canal 70 de la banda de ondas métricas.
- **Un SART (Search And Rescue radar Transponder) o respondedor radar**, es decir, un dispositivo de localización de búsqueda y salvamento que pueda funcionar en la banda de 9 GHz o en frecuencias reservadas para el AIS.
- **Un receptor que pueda recibir las transmisiones del servicio NAVTEX Internacional.**
- **Una radiobaliza de localización de siniestros por satélite (EPIRB o RLS satelitaria)** que tenga capacidad para transmitir una alerta de socorro, a través del servicio de satélites de órbita polar que trabaja en la banda de 406 MHz.

El buque proyecto tiene su zona de operación en la Costa Cantábrica, la cual se encuentra en la zona marítima A2, según las áreas geográficas definidas en SOLAS que cubre el SMSSM, como se aprecia en la siguiente imagen:



*Figura 6. Zonas marítimas principales en la Unión Europea*

En circunstancias excepcionales, si se trata de un viaje aislado que el buque efectúa fuera de la zona marítima para la que está equipado, se le puede conceder una exención.

Por lo tanto, como se indica en la regla 9 del Capítulo IV de SOLAS, todo buque que efectúe viajes fuera de las zonas marítimas A1, pero que permanezcan en las zonas marítimas A2, llevará:

- **Una instalación radioeléctrica de ondas hectométricas** que pueda transmitir y recibir, a efectos de socorro y seguridad, en las frecuencias de: 2187,5 KHz utilizando LSD y 2182 KHz utilizando radiotelefonía. Además, funcionará en las frecuencias de trabajo en las bandas comprendidas entre 1605 KHz y 4000 KHz o entre 4000 KHz y 27000 KHz.
- **Una instalación radioeléctrica** que pueda mantener una escucha continua de LSD en la frecuencia de 2187,5 KHz.
- **Medios para iniciar la transmisión de alertas de socorro buque-costera** mediante un servicio de radiocomunicaciones que no sea el de ondas hectométricas y que trabajen: mediante la RLS satelitaria anterior, o en ondas decamétricas utilizando LSD.
- El buque deberá poder transmitir y recibir radiocomunicaciones generales utilizando radiotelefonía o telegrafía de impresión directa mediante: la instalación radioeléctrica anterior, o una estación terrena de buque de INMARSAT.

Además de todos los anteriores, el buque deberá contar con una bocina (o thypoon) de funcionamiento por aire comprimido a través de un pulsador situado en la consola de navegación del puente de gobierno.

## **2.7 Sistemas auxiliares**

### **2.7.1. Sistema de venteo**

El sistema de venteo es aquel capaz de controlar el respiro de los tanques de carga, permitiendo la entrada de aire del exterior o la salida de la mezcla del interior de los tanques, con la finalidad de controlar la presión interna de los tanques dentro de los límites para los que están diseñados.

El sistema estará subdividido en dos subsistemas, cada uno de ellos para cubrir una condición de operación de los tanques:

- **Variaciones térmicas:** controla las variaciones de presión por las dilataciones y contracciones de la mezcla del interior de los tanques como consecuencia de las variaciones térmicas durante la navegación. En cualquier caso se trata del control de pequeños volúmenes que se liberan o se toman de la atmósfera. Se realiza mediante válvulas de presión/vació taradas para liberar la mezcla cuando se produce una sobre presión o

permitir la entrada de aire cuando se produzca vacío en el interior de los tanques.

- Operaciones de carga de los tanques: permite la salida de grandes volúmenes de la mezcla a la atmósfera durante el proceso de carga de los tanques para mantener las presiones en el interior dentro de los valores admisibles. Se admite que esta mezcla sea liberada a la atmósfera por:
  - Descarga libre, la mezcla sale de forma natural a través de una descarga con rejilla, este venteo debe aislarse mediante una válvula de aislamiento.
  - Descarga a alta velocidad, el gas inerte se acelera para que se libere a una velocidad mínima de 30 m/s, lanzándolo lejos del buque. Para ello se utilizan válvulas de descarga de alta velocidad.

Este sistema debe diseñarse para una capacidad mínima del 125% de la capacidad de carga de los tanques a cubrir.

### 2.7.2. Servicio de accesos

Este servicio incluye a todos aquellos elementos que permiten a las personas a bordo del buque desplazarse de un compartimiento a otro, de la forma más directa posible y en todas las condiciones meteorológicas.

Los elementos a describir son:

- **Escalas.** Las escalas interiores para acceso a las distintas cubiertas, cámara de máquinas y pañoles, así como las exteriores de acceso a la cubierta de la superestructura, serán metálicas, compuestas de gualderas de llanta de acero y pasos de entramado de tipo normalizado. Las escalas instaladas en las escotillas serán fácilmente desmontables para facilitar las descargas de materiales y equipos. Se pondrán pasamanos en todas las escalas y sobre las cubiertas de intemperie o que conduzcan a ellas, y en todas las escalas inclinadas interiores. Las escalas están construidas con material incombustible y los peldaños estarán revestidos con material antideslizante. Todos estos elementos deberán cumplir con lo prescrito en la Regla 13.3 del capítulo II-2 del Convenio SOLAS, medios de evacuación desde los puestos de control, espacios de alojamiento y de servicio.
- **Puertas, escotillas y tapas de registro.** Las puertas estructurales, escotillas y tapas de registro se normalizarán en la medida de lo posible en lo que respecta a tamaños, tipos, herrajes, accesorios, etc., para facilitar reparaciones, cambios de frisas y necesidades de respeto. Se proveerá cada cierre con los medios necesarios (topes, trincas, amortiguadores, etc.) para evitar que golpeteen. Todas las puertas,

escotillas y tapas, así como sus respectivas marcas y brazolas serán proyectadas y construidas de forma que sean lo más ligeras posible, compatible con la necesidad de estanqueidad y rigidez. Las puertas de acceso a los espacios situados en la cubierta principal serán estancas al agua. También serán estancas al agua las puertas situadas en los mamparos estancos de subdivisión. Éstas serán de accionamiento hidráulico con control local y control remoto en el puente. Por encima de la cubierta principal, las puertas serán estancas a la intemperie. Las bisagras de las puertas estarán situadas en la parte de proa de las mismas, de forma que el viento y los golpes de mar tiendan a cerrarlas. Las tapas de las escotillas de acceso serán de acero, con trincas y frisas flexibles. Las brazolas deberán cumplir con los requisitos de las Reglas de Lloyd's Register. Su altura se fija en 600 mm. El acceso a los tanques y espacios secos se hará a través de registros que tendrán una abertura de 500 mm de diámetro o equivalente.

### **3. Definición y dimensionamiento de los servicios específicos del buque para su misión**

#### **3.1. Servicios de gobierno**

La descripción exhaustiva de los propulsores instalados en el buque proyecto se realizó en el Cuaderno 6, *Cálculo de potencia y proyecto de propulsores*. En este apartado se hace un breve resumen de lo expuesto en ese cuaderno.

##### **3.1.1. Propulsores Azipod CO1400**

El buque proyecto está equipado con dos propulsores Azipod del grupo ABB, con motores síncronos de 4500 kW de potencia. Cada uno de ellos consta de dos módulos: el módulo de dirección o servomotor, que se instala dentro de la nave, y el módulo de propulsión, que se monta debajo del casco. La maniobrabilidad es excelente, puesto que son unidades de propulsión totalmente orientables, 360°, y no son necesarios, por ello, timones.

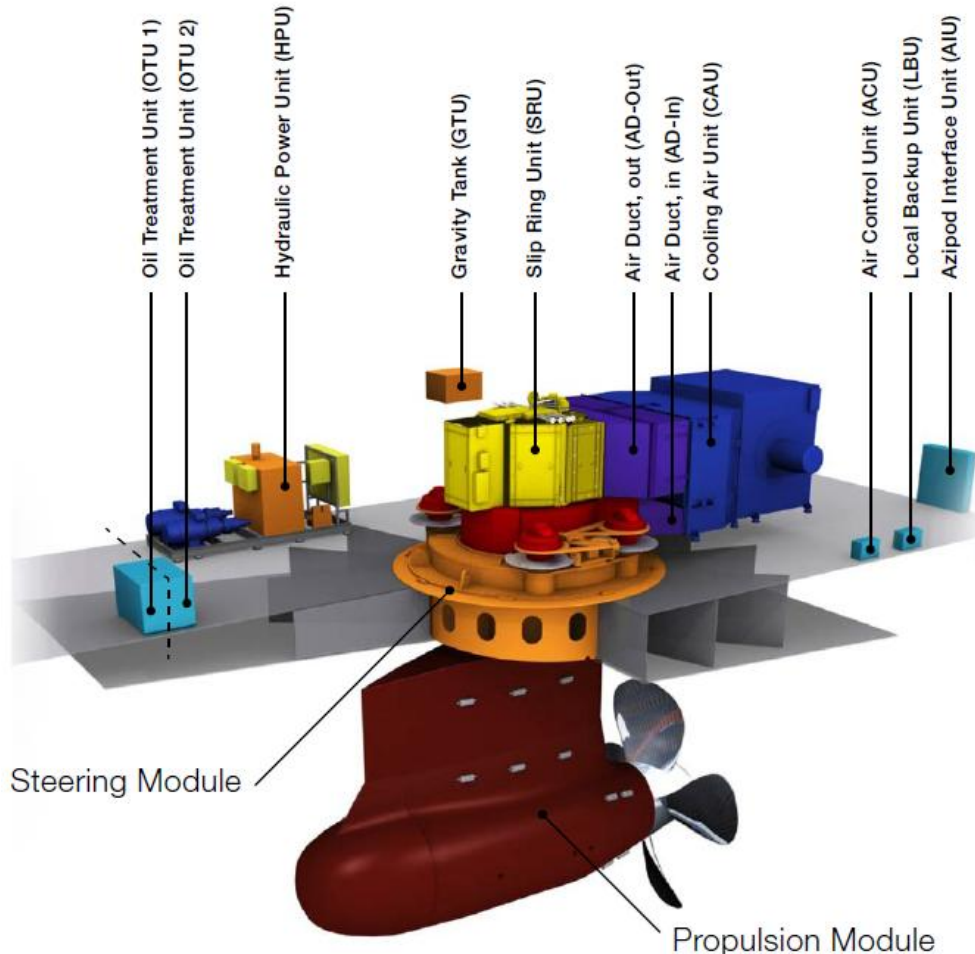


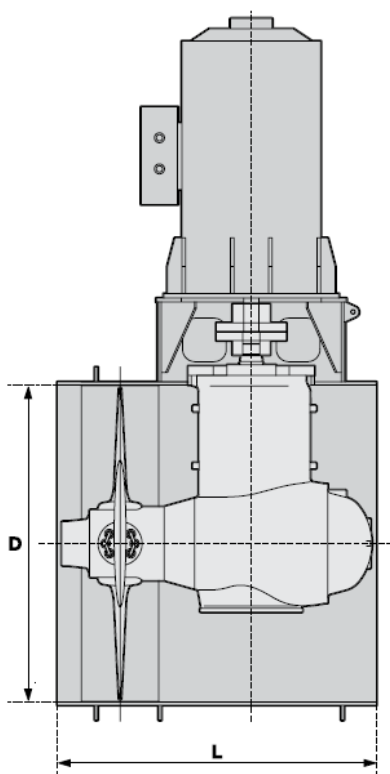
Figura 7. Disposición típica de los propulsores Azipod en un buque



### 3.1.2. Propulsores de proa

Según la estimación de necesidad de empuje en los propulsores transversales hecha en el Cuaderno 6, teniendo en cuenta los factores ambientales, se eligieron dos propulsores transversales de proa de la casa Wärtsilä, modelo CT/FT200M con una potencia máxima de 1200 kW. Estos se sitúan en el buque proyecto en las cuadernas 104 y 108, dentro del espacio entre el pique de proa y el mamparo de proa de cámara de máquinas, lo más a proa posible para aumentar el momento de giro y, en consecuencia, mejorar la maniobrabilidad.

El diámetro,  $D$ , de ambos propulsores es 2 metros y la longitud mínima de los túneles 2,25 metros.



*Figura 8. Perfil del thruster de proa con las dimensiones principales*

### 3.1.3. Posicionamiento dinámico

El objetivo del posicionamiento dinámico es controlar los movimientos de avance, deriva y rumbo del buque, es decir, la posición y orientación de la plataforma, contrarrestando las acciones del viento, corrientes y oleaje y las fuerzas ligadas a la operación de la plataforma (operaciones con anclas...) mediante la acción de empujadores activos. El sistema de posicionamiento dinámico del buque proyecto es nivel 2, tal como indican las especificaciones del proyecto, lo cual según la notación de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register es DP (AA).

Los requerimientos para la asignación de notación de clase DP (AA) de este sistema están explicados en la parte 7, capítulo 4, sección 4, de las normas de Lloyd's. Se necesita que los sistemas de potencia, control, propulsores y otros sistemas necesarios, o que pudieran afectar al correcto funcionamiento del sistema DP, sean proporcionados y configurados de tal manera que, cualquier fallo en cualquier componente activo o sistema, no de dar lugar a una pérdida de posición. Estos requisitos del sistema DP (AA) se alcanzan principalmente mediante redundancia de equipos. La redundancia puede definirse como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo.

Por lo tanto, el buque proyecto debe estar equipado con un Sistema de Posicionamiento Redundante. La empresa Kongsber Maritime ofrece este tipo de sistemas, como el DP system Dual redundant K-Pos DP-21/22. Se trata de una unidad de control redundante y dos consolas. Las unidades de control están formadas por dos ordenadores de gran potencia y unidades I/O para varios propulsores y hélices mediante estaciones de procesamiento locales. El DP-21 ofrece una interfaz directa a los propulsores e incluye las interfaces necesarias para las plantas de energía, sistemas de referencia de posición y sensores.



*Figura 9. Fotografía de una unidad de control redundante de DP*

### **3.2. Equipos para el remolque y manejo de anclas**

En este apartado se indican los principales elementos que se requieren para el remolque y manejo de anclas. Se debe tener en cuenta la conclusión hecha en cuadernos anteriores de dotar al buque con un tiro a punto fijo de 150 toneladas. Los equipos que se deciden instalar a bordo del buque proyecto se explican a continuación y son los recomendados por Rolls-Royce para los buques AHTS.

### 3.2.1. Rodillo de popa o Stern Roller

Los rodillos de popa pueden ser individuales, dobles o triples. Cada rodillo está equipado con un dispositivo de medición para estimar la longitud de cable o de cadena que se mueve sobre el rodillo hacia fuera del buque o hacia dentro. Se activa automáticamente un sistema de enfriamiento cuando se realizan operaciones de remolque o de manejo de anclas, con un sistema de alarma monitoreado en caso de haber fugas o un caudal insuficiente.

### 3.2.2. Shark Jaws, Tow Pins y Centring Devices

El buque dispone de dos pares de *shark jaws* de Karm Forks para la manipulación de anclas de 165 mm de diámetro y 88 t de carga de trabajo seguras.

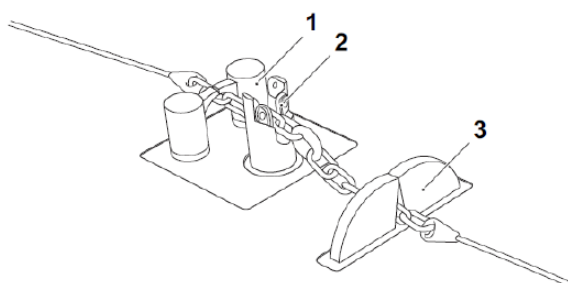


Figure 1 Towpins, Shark Jaw and Centering Device

1. Towpins
2. Shark jaw
3. Centering device



Figura 10. Esquema e imagen del sistema de shark jaws

Los *towing pins* se utilizan para guiar el cable y la cadena hacia el área del *shark jaw* sin la presencia de la tripulación. Los *towong pins* también están equipados con brazos de guía que pueden ser controlados individualmente para ayudar a guiar la cadena hacia el *shark jaw* en un ángulo recto.

El *shark jaw* sostiene los cables y cadenas en su posición a cargas elevadas. Está equipado con insertos de cadena y cables ajustables.

Estos dispositivos son retráctiles bajo la cubierta.

### 3.2.3. Stop Pins

Los *stop pins* se utilizan para detener al cable de remolque que se desplace demasiado hacia los costados del buque y, en algunos casos, para posicionar líneas de amarre y fondeo fuera de ellos, impidiendo que éstas líneas vayan hacia el rodillo o *stern roller*. Los *stop pins* tienen un rodillo giratorio para evitar su desgaste o el de las líneas de amarre.

### 3.2.4. Spooling Sheave

El *spooling sheave* se dispone principalmente para reducir la tensión perjudicial en los cables doblados a una alta tensión sobre el diámetro pequeño. Previamente, el cable de trabajo se pone alrededor de los *tow pins*, con un diámetro pequeño, para disponer el cable en los tambores o bobinas de gran diámetro.

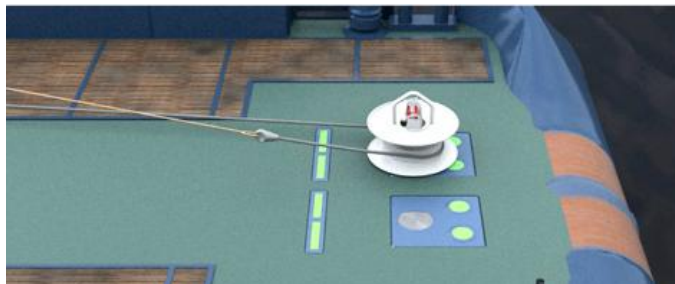


Figura 11. Spooling device

### 3.2.5. Tugger Winches

Los *tugger winches* normalmente se utilizan para ayudar a mover cargas en cubierta. La fuerza de tracción puede estar normalmente en el rango de 2 a 25 toneladas. Estos elementos son normalmente controlados de forma remota para una operación segura.

### 3.2.6. Grúas de cubierta

Las grúas móviles electro-hidráulicas sobre raíles a cada banda de la cubierta A son una herramienta multitarea. Además de tener todas las habilidades normales, estas grúas tienen también una serie de funciones adicionales. La multi-herramienta instalada en uno de los brazos tiene una herramienta para la liberación controlada de las vueltas de los cables y también una herramienta de agarre que está destinada para su uso en el levantamiento de grilletes o para agarrar otros equipos. Tienen una capacidad de 5 t y su radio de acción es 14,31 metros. Están montadas sobre raíles para poder operar a lo largo de toda la cubierta y se accionan remotamente desde un panel portátil en el puente.



Figura 12. Grúas de cubierta

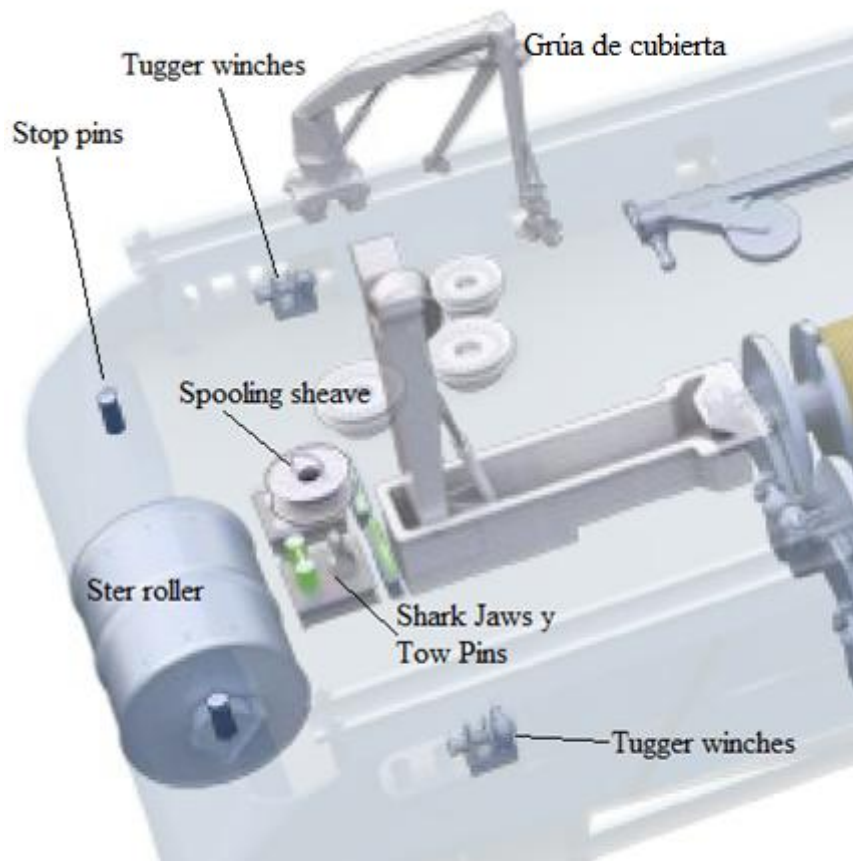


Figura 13. Esquema de la popa con los equipos de remolque y manejo de anclas

### 3.2.7. Chain Haulers y Chain Rollers

Los *chain haulers* son una manera eficaz de recoger las cadenas del molinete de cadenas a la caja de cadenas. Se dará una pequeña tensión a la cadena con el fin de hacer el transporte de la cadena mucho más fácil, debido a la fricción entre la cubierta y las cadenas.

Por otro lado, los *chain rollers* se utilizan para guiar la cadena al molinete con el fin de conseguir el ángulo apropiado de contacto.



Figura 14. Chain haulers y chain rollers

### 3.2.8. Spooling devices

Normalmente el cable se recoge ajustándolo en el tambor de forma que se obtenga la capacidad de almacenamiento óptima y se eviten daños en el cable. Suelen ser de accionamiento hidráulico, pero pueden también ser accionados directamente de forma mecánica desde el tambor.



*Figura 15. Spooling devices*

### 3.2.9. Cable Lifter Changer

El objetivo principal de este equipo es el de ayudar en el cambio, de forma segura, de los elevadores de cables cuando éstos están todavía en el mar.

Este equipo consta principalmente de dos componentes: la herramienta para la eliminación/instalación del elevador de cable y el sistema de almacenamiento para los elevadores de cable no utilizados.



*Figura 16. Cable lifter changer*

### 3.2.10. Anchor Handling/Tow Winches

Se utilizan a menudo en combinación con la tracción a punto fijo del buque, para sacar las anclas y reposicionarlas en el lugar que se desee.

El equipo de remolque está formado por dos cabestrantes a popa, de 3.000 mm de longitud y diámetro de 4.000 mm, y diseñado para soportar 750 t de carga y disponen



de un sistema automático de engrasado; dos frenos hidráulicos para los chigres y cabestrantes, dos dispositivos de bloqueo y dos pernos de elevación



*Figura 17. Anchor handling/tow winches*

Manejo de ancla con un tiro máximo de 400 t. Remolca con un tiro máximo de 300 t (dos tambores) y su tiro a punto fijo es de 150 t al 100% de la MCR y empleando propulsión azimutal.

### **3.2.11. Secondary Winches**

Estos elementos combinan una gran capacidad de almacenamiento de cables y cuerdas con una fuerza de tracción superior. Los *secondary winches* se pueden utilizar para transferir cable y cuerda para otros winches mientras se mantiene la tensión y permitiendo, por tanto, utilizar una fuerza superior en el cable y la cuerda durante el despliegue.

### **3.2.12. Storage Winches**

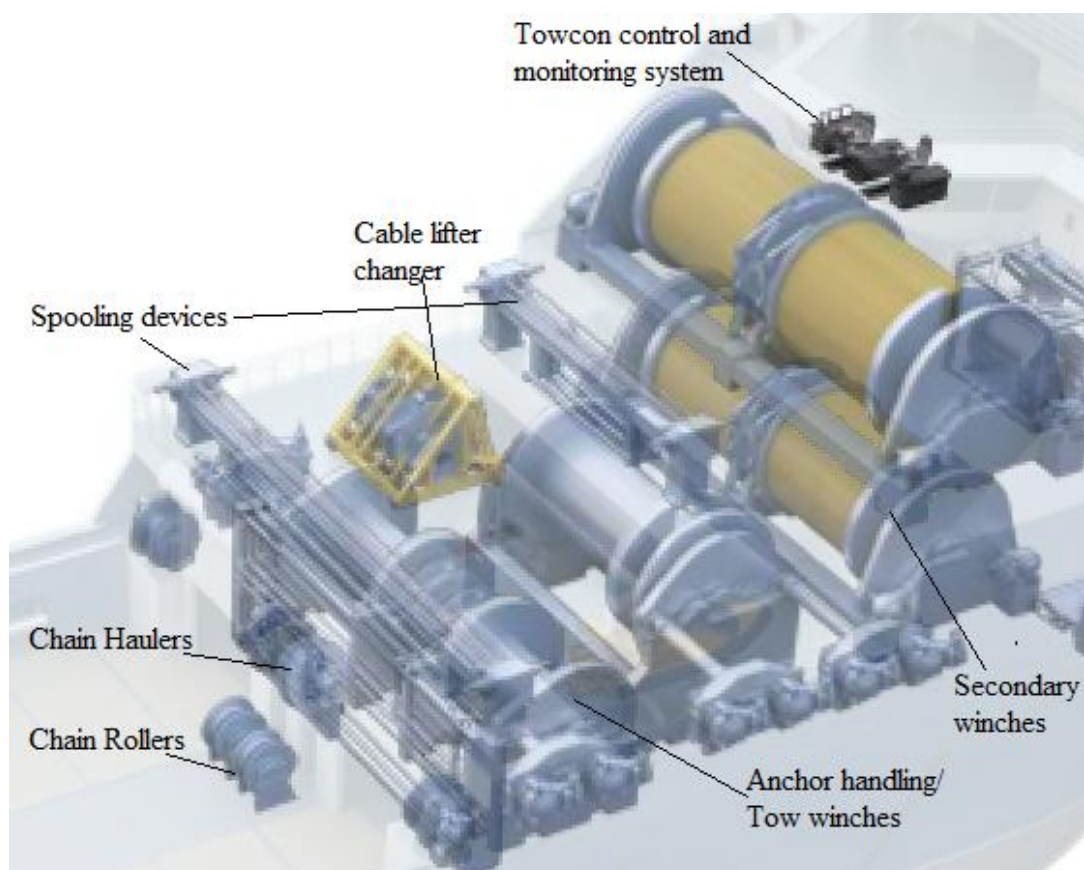
Tienen una capacidad muy alta de almacenamiento de cables o líneas sintéticas. Dado que el propósito principal es el almacenamiento y la transferencia de cables y cuerdas, la capacidad de tracción está normalmente entre 20 y 60 toneladas.

### **3.2.13. Towcon Control and Monitoring System**

Es un equipo que va montado en el panel de control del puente y en el apoyabrazos de la silla del operador de los cabestrantes. La pantalla táctil del display da la información y la representación gráfica de los tambores y los motores hidráulicos principales y la carga del *shark jaw*.



*Figura 18. Towcon Control and Monitoring System*



*Figura 19. Esquema de los equipos de remolque y manejo de anclas a popa de la habilitación*



### 3.3. Servicios de la carga

A la hora de diseñar los servicios de la carga se decide dotar al buque de equipos e instalaciones de operación remota de los sistemas de manejo de la carga, de acuerdo con los últimos avances. El diseño ha tenido muy en cuenta minimizar los trabajos de operación de la carga y mantenimiento de los tanques, aplicando un alto nivel de automatización y control remoto de todos los sistemas, incluidas las grúas de cubierta.

Observando las características técnicas del buque base *Loke Viking* en lo referente a las capacidades de carga y velocidades de carga/descarga, se decide emplear la misma relación en el buque proyecto, eligiéndose las bombas y compresores según esta condición.

#### 3.3.1. Bombas

Todas las bombas de servicio instaladas a bordo han sido suministradas por Azcue.

Se han dispuesto:

- **Dos bombas** para los tanques de agua dulce de **100 m<sup>3</sup>/h** de capacidad.
- **Dos bombas** para los tanques de combustible Marine Diesel Oil (MDO) o MDF de **190 m<sup>3</sup>/h** de capacidad.
- **Cuatro bombas** para los tanques de lodos líquidos, de perforación, liquid mud o salmuera, de **190 m<sup>3</sup>/h** de capacidad. Los lodos de perforación básicamente son una fase líquida (agua o aceite) en la que se encuentran sólidos en suspensión.

La descarga de metanol se produce a 150 m<sup>3</sup>/h.

Además de las bombas para la carga/descarga de los tanques del buque, se instalarán cuatro bombas que actuarán como unidad hidráulica, cuya demanda conjunta se estima en 4 kW.

#### 3.3.2. Compresores

Los compresores de baja presión y elevado caudal para soplado de áridos son empleados esencialmente para el transporte neumático de materiales polvorientos o granulosos a través de tuberías de transporte separándose luego muy fácilmente el material en fase densa y el aire en decantadores ciclónicos.

Los equipos se pueden montar con motor eléctrico para un uso estacionario (en Plantas) ó móvil con acceso a energía eléctrica en el punto de descarga ó como unidades

autónomas con accionamiento con motor Diesel ó directamente acoplado a la toma de fuerza del camión o motor.

Para la descarga de la carga seca, como cemento, alojado en los cuatro tanques de la 2ª cubierta, se eligen **2 compresores** para soplado de áridos de la casa Asturcom, modelo Campeone 1.5 con un **caudal efectivo de 168 m<sup>3</sup>/h**, una presión de trabajo de 2,5 bar y una **potencia de 15 CV** cada uno.



*Figura 20. Compresores para soplado de áridos de la casa Asturcom*

### 3.3.3. Grúas

Las grúas que se disponen en distintas cubiertas del buque proyecto son las siguientes:

- En cámara de máquinas existen cuatro grúas puente con una carga segura de trabajo de 2 t y con accionamiento electro-hidráulico.
- Bajo la cubierta B se ha dispuesto de una grúa puente diseñada con una carga de trabajo segura de 15 t para las operaciones con las cadenas.
- Una grúa puente de 2 t de carga de trabajo segura bajo la cubierta A, desde la escotilla de la cámara de máquinas hasta la popa de los molinetes.
- En la cubierta D se ha dispuesto una grúa electro-hidráulica a estribor, con una capacidad de 6 t y con un radio de acción de 14,40 metros, con un pedestal de 1,80 metros de altura sobre dicha cubierta. Esta grúa es operada con control remoto desde un panel portátil en el puente.

A estas grúas hay que añadir las grúas móviles electro-hidráulicas sobre raíles, mencionadas en el apartado anterior, a cada banda de la cubierta A.

### **3.4. Sistemas de protección frente al ambiente marino**

Los sistemas de protección frente al ambiente son especialmente importantes en el caso de los buques para su operatividad, debido a las condiciones agresivas y de deterioro que se generan en la mar, pues las partículas salinas sobre la superficie de los metales aceleran el proceso de corrosión metálica.

#### **3.4.1. Sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio**

La protección catódica es un método eléctrico de protección de los metales contra la corrosión, que consiste en modificar el potencial de los metales con relación al ambiente en el que se encuentran (agua de mar en el caso del buque proyecto), otorgándoles así la función de cátodo, con lo que se invierte el sentido de las reacciones electroquímicas que pueden producirse entre el metal y el medio que lo rodea. Entonces, la estructura metálica actuará como cátodo y, por tanto, no se corroerá, el metal permanecerá estable.

Podemos proteger una estructura metálica, uniéndola a otro metal mucho más electronegativo que actuará de ánodo frente a ella, corroyéndose dicho metal, al tiempo que protegerá a la estructura metálica. Este es el fundamento de los ánodos de sacrificio, en el que se consigue la corriente necesaria para la protección frente a la corrosión sin necesidad de una fuente externa, como sería en el caso de una corriente impresa.

Una vez instalados los ánodos de sacrificio, las recomendaciones más usuales son:

- No pintarlos.
- Verificar los ánodos mediante la toma de potenciales con un electrodo de referencia adecuado, su comportamiento periódicamente durante su tiempo de vida.
- Se debe trabajar para garantizar la selección del ánodo así como la eficiencia del sistema.

Para el sistema de protección catódica, habrá que poner especial atención a la zona de los propulsores Azipod y las hélices transversales, tomas de mar, tanques de lastre y residuos. Para las tomas de mar se deberá instalar un sistema anti-incrustante.

#### **3.4.2. Galvanizado y decapado de tuberías y elementos**

El decapado es el proceso de limpieza que se aplica a equipos o piezas de acero inoxidable para retirar óxidos de hierro y otros contaminantes, principalmente pre-operativamente para evitar que el metal no sufra corrosión. Esto se logra mediante la generación de una superficie “pasiva”, es decir, que no tiende a la corrosión. Se aplica a

tanques, tuberías, y en general cualquier elemento fabricado en acero inoxidable. Los fabricantes de los equipos de los buques suelen exigir este proceso de limpieza antes de realizar las conexiones de tuberías a los motores, bombas, compresores, etc, con el fin de garantizar un funcionamiento correcto y evitar averías.

Por otro lado, el proceso de galvanizado es un tratamiento superficial para la protección del acero frente a la corrosión. Se deben tratar de esta forma, por ejemplo, los aceros de las escalas y barandillas exteriores.

### **3.4.3. Protección por recubrimientos de pintura**

Las pinturas es el procedimiento más empleado en la protección contra la corrosión de los metales, se puede decir que entre un 85 y un 90% de la superficie metálica expuesta al medio ambiente, y por lo tanto, posible de ser corroída, está pintada.

Las fundamentales ventajas de la protección por medio de pinturas de los metales son: existe una gran variedad de tipos distintos de pinturas, la facilidad de la aplicación de la pintura a los metales, la enorme diversidad de posibles colores, el coste relativamente bajo de esta técnica de protección, la posibilidad de combinar esta técnica con otros métodos de protección, etc.



## **4. Bibliografía general.**

### **4.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [3] *Convenio SOLAS*. OMI.
- [4] Amable Lopez Piñeiro. *Iluminación a bordo*. ETSIN.
- [5] Amable Lopez Piñeiro. *Sistemas de Ayudas a la Navegación*. ETSIN.
- [6] Amable Lopez Piñeiro. *Sistemas de Comunicaciones Marinas*. ETSIN.
- [7] ABB Group. [Web en línea]. <> <http://www.abb.com/>
- [8] Kongsberg Maritime. [Web en línea]. <> <http://www.km.kongsberg.com/>
- [9] Rolls-Royce. [Web en línea]. *Deck machinery for AHTS vessels*. <> [http://www.rolls-royce.com/marine/products/deck\\_machinery/dm\\_offshore/dm\\_ahts/](http://www.rolls-royce.com/marine/products/deck_machinery/dm_offshore/dm_ahts/)
- [10] Asturcom Compresores. [Web en línea]. <> <http://www.asturcom.com.ar/>

### **4.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Loke Viking. <> <http://www.sjofartstidningen.se/>
- [2] Surcando. [Web en línea]. Enciclopedia náutica <> <http://www.surcando.com/>.
- [3] Revista del Sector marítimo. [Web en línea]. <> <http://www.sectormaritimo.com/>.

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 9**

**Planta eléctrica**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

***Tutor: José María Riola Rodríguez***

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Definición de la planta eléctrica. Distribución unifilar. Tensión. Frecuencia .....</b>	<b>4</b>
2.1. Tipos de plantas generadoras a bordo .....	4
2.2. Elección del tipo de corriente .....	5
2.3. Sistema de distribución .....	5
2.4. Elección de la tensión y la frecuencia de distribución .....	6
<b>3. Estimación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor .....</b>	<b>6</b>
3.1. Servicios de máquinas .....	7
3.2. Servicios de casco y cubierta .....	8
3.3. Servicios de carga/descarga .....	9
3.4. Habilitación .....	9
3.5. Alumbrado .....	10
3.6. Equipos electrónicos de navegación, comunicaciones y automación .....	11
3.7. Otros .....	12
<b>4. Determinación de las diferentes situaciones de carga eléctrica .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Servicios esenciales y no esenciales .....</b>	<b>12</b>
<b>6. Balance eléctrico .....</b>	<b>14</b>
<b>7. Grupos generadores, incluido el de emergencia y puerto .....</b>	<b>16</b>
7.1. Régimen de utilización de los grupos electrógenos .....	17
7.2. Grupo de emergencia y puerto .....	18
7.3. Fuente transitoria de energía eléctrica .....	28
<b>8. Cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto .....</b>	<b>28</b>
<b>9. Cuadros de distribución .....</b>	<b>29</b>
9.1. Cuadro principal .....	30
9.2. Cuadro de emergencia .....	30
9.3. Cuadros de distribución: secundarios y terminales .....	31
9.4. Cuadro de conexión a tierra .....	32
9.5. Cuadro de luces de navegación .....	32
9.6. Transformadores .....	32
<b>10. Cables y diagrama unifilar .....</b>	<b>33</b>
10.1. Cables eléctricos .....	33
10.2. Diagrama unifilar .....	34
<b>11. Bibliografía general .....</b>	<b>35</b>
11.1. Bibliografía básica .....	35
11.2. Bibliografía complementaria .....	35

## **Figuras**

Figura 1. Plano del generador Wärtsilä W 6L20DF .....	23
Figura 2. Principales dimensiones de la GVV .....	27

## **Tablas**

Tabla 1. Estimación del consumo del alumbrado interior .....	11
Tabla 2. Balance eléctrico del buque proyecto .....	15
Tabla 3. Resultado del balance eléctrico para cada situación de carga eléctrica.....	16
Tabla 4. Régimen de utilización de los grupos electrógenos .....	18
Tabla 5. Balance eléctrico en las situaciones de puerto y emergencia .....	22
Tabla 6. Resultado del balance eléctrico para las situaciones de emergencia y puerto...	23
Tabla 7. Dimensiones principales de los Wärtsilä W 6L20DF .....	23
Tabla 8. Régimen de utilización del grupo de emergencia y puerto .....	27
Tabla 9. Cuadro resumen del régimen d utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto .....	28



## **1. Introducción**

En este cuaderno se hace la definición de la planta eléctrica del buque proyecto, teniendo en cuenta la estimación de la potencia eléctrica requerida por todos los consumidores en las distintas situaciones de carga y en la situación de emergencia. Se hace un balance eléctrico mediante el que se logre estimar la demanda eléctrica en cada situación.

Habrà que hacer también un cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto.

Se indican a continuación las especificaciones que describen el buque proyecto:

- REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.
- ESLORA MÁXIMA:** 85m.
- PESO MUERTO:** 4500 TPM.
- VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.
- SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.
- REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Las fases del diseño de la planta eléctrica son:

- Elección de tensión, frecuencia y distribución.
- Cálculo de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor.
- Situaciones de carga eléctrica.
- Servicios esenciales y no esenciales.
- Balance eléctrico. Grupo de generadores y transformadores.
- Situación de emergencia.
- Cuadro de los grupos generadores, principales y de emergencia.
- Descripción del cuadro principal.
- Esquema unifilar del sistema de potencia.

## **2. Definición de la planta eléctrica. Distribución unifilar. Tensión. Frecuencia**

La planta eléctrica del buque de proyecto estará compuesta principalmente por los siguientes elementos:

- *Planta generadora.* Es la planta encargada de generar la energía eléctrica mediante la transformación de energía mecánica.
- *Cuadro de distribución principal.* Permite el accionamiento, acoplamiento y selección de los generadores correspondientes.
- *Red de distribución.* Es la encargada de enlazar el cuadro principal con las estaciones y subestaciones de distribución.
- *Consumidores.* Son los elementos y equipos que consumen la energía eléctrica.

Tal como dice la Regla 40-1 del Capítulo II-1 del Convenio SOLAS, se proveerá una fuente de energía eléctrica principal con capacidad suficiente para alimentar todos los servicios mencionados en la Regla 40.1.1. En la Regla 41 se indica, además, que habrá una red de alumbrado eléctrico principal que iluminará todas las partes del buque normalmente accesibles a los pasajeros o a la tripulación y utilizadas por éstos y que estará alimentada por la fuente de energía eléctrica principal. Las Reglas 42 y 43 hablan sobre la fuente de energía eléctrica de emergencia que se proveerá al buque proyecto.

### **2.1. Tipos de plantas generadoras a bordo**

A bordo, el término “planta generadora” se refiere al conjunto de generadores eléctricos y sus máquinas primarias. Por motivos de fiabilidad y seguridad, la potencia eléctrica instalada se divide en varios generadores, que, a su vez, pueden agruparse en los subconjuntos siguientes:

- *Planta principal:* Es la que se encarga de suministrar energía eléctrica al buque durante su operación normal, en las distintas situaciones de trabajo. Se entiende por condición normal aquella en la que el conjunto de maquinaria, servicios, medios y ayudas para asegurar la propulsión, maniobra y navegación, así como sistemas de achique, contraincendios, comunicaciones, chigres de botes salvavidas y servicios de habitabilidad estén operativos. Debe estar compuesta por dos o más grupos electrógenos, como indican Lloyd’s Register y SOLAS.
- *Planta de emergencia.* Su misión es suministrar energía eléctrica para el salvamento del buque o, en caso extremo, durante su abandono. Estará formada por un grupo diesel autónomo, con sistema de arranque propio.
- *Fuente transitoria de energía.* Es necesaria en todos los buques de carga en los que la entrada de la planta de emergencia no está automatizada y en todos los de pasaje. Está compuesta por sistemas de baterías,

dimensionados para facilitar una iluminación de escape durante media hora. También provee de una continuidad de iluminación durante el corto espacio de tiempo desde que se produce un black-out, hasta que arranca el grupo de emergencia y alimenta a sus consumidores.

## 2.2. Elección del tipo de corriente

La instalación eléctrica del buque proyecto se realizará en corriente alterna. Se presentan, de esta forma, las siguientes ventajas:

- Menor peso, volumen y coste de las máquinas.
- Mayor fiabilidad y menores necesidades de mantenimiento.
- Posibilidad de tensiones mayores, y por tanto de menores intensidades, siendo necesaria una sección menor de cable.
- Posibilidad de utilizar un mayor margen de niveles de tensión respecto a la corriente continua.
- Mayor seguridad de funcionamiento al no tener colectores en los motores de inducción y alternadores.
- Facilidad para transformar la tensión mediante el uso de transformadores.
- Mayor compatibilidad con los equipos utilizados en tierra.

La corriente alterna presenta el inconveniente de que los motores de corriente alterna son más difíciles de regular en velocidad y tienen menor par de arranque. En cualquier caso la mayoría de los equipos funcionan a velocidad constante.

La Sociedad de Clasificación Lloyd's Register señala en la Parte 6, Capítulo 2 indica los requerimientos de la planta eléctrica del buque. Las tensiones máximas admitidas, según el tipo de servicio al que se destinen, son las siguientes:

- Generación y fuerza: 15000 V.
- Cocina, calefacción conectada de forma permanente a la red fija: 500 V.
- Alumbrado, calentadores y aplicaciones no mencionadas anteriormente: 250 V.

## 2.3. Sistema de distribución

Dentro de la red de distribución a bordo se suelen considerar dos sub-redes:

- *La de fuerza.* Se encarga de la alimentación de los consumidores de mayor potencia.
- *La de alumbrado.* Además del alumbrado en sí, alimenta los pequeños consumidores de la zona de habitación, los sistemas de control y la mayoría de los equipos electrónicos.

Por tanto, la red de generación y la de fuerza se distribuirán como corriente alterna trifásica, instalando un cuarto cable neutro conectado a tierra en los equipos que lo requieran (no se utilizará el casco como neutro).

La red de alumbrado será alterna monofásica y, adicionalmente se dispondrá de una red de corriente continua de 24 V para la red de electrónica.

#### **2.4. Elección de la tensión y la frecuencia de distribución**

El sistema de propulsión del buque proyecto es diesel-eléctrica, tal como se indica en las especificaciones, y los propulsores llevan incorporados motores eléctricos para su funcionamiento. Los consumidores de mayor potencia del buque proyecto se alimentarán, por ello, de dos cuadros distintos según la demanda de cada uno de los equipos, que se denominarán cuadro principal y cuadro primario.

En el cuadro principal la tensión de fuerza será de **690 V a 50 Hz**, al cual se conectan los propulsores azimutales principales, los propulsores transversales y la conexión a los grupos diesel principales por medio de grandes transformadores.

Para el cuadro primario se elige emplear corriente alterna trifásica según la configuración europea, es decir, **380 V y 50 Hz**. Las conexiones a este cuadro serán de las instalaciones de fuerza, como los equipos de sistemas generales del buque o los de carga/descarga

Por parte de la red de alumbrado, el cuadro secundario, el valor que es más usual son **230 V** de corriente alterna monofásica, obtenida a partir de la red de fuerza por medio de transformadores. A este cuadro se conectarán los equipos de iluminación y consumos en habilitación, salvo luces especiales de navegación y señales junto a los equipos de comunicación y motor de arranque de generador de emergencia, cuyo alimentación será a 24V de corriente continua.

Adicionalmente, se dispondrá de una red de corriente continua de **24 V**, para los equipos y sistemas electrónicos.

### **3. Estimación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor**

Se necesita estimar la potencia eléctrica que requieren los distintos consumidores a bordo para, posteriormente, dimensionar la planta eléctrica del buque proyecto y llevar a cabo el balance eléctrico. Desde el punto de vista de sus necesidades energéticas, podemos clasificar a los distintos consumidores del buque según tres

criterios: importancia para la seguridad del buque, misión del equipo eléctrico y potencia relativa de los consumidores (nivel de tensión al que se alimentan).

Con objeto de identificar de forma clara a los consumidores para su posterior tratamiento, se agruparán los servicios en los siguientes grupos:

- *Servicios de máquinas.* Incluyen todos los auxiliares de la maquinaria principal, situados en la cámara de máquinas, como son las distintas bombas, compresores, separadoras centrífugas o ventilación de cámara de máquinas.
- *Servicios de casco y cubierta.* Son todos aquellos auxiliares, situados en cámara de máquinas o en otros espacios del buque, necesarios para la navegación y maniobras. Por ejemplo, equipos de lastre y contra incendios o los chigres de amarre y remolque.
- *Servicios de carga/descarga.* Operan, fundamentalmente, en puerto. Son, por ejemplo, las grúas, bombas de descarga, etc.
- *Habilitación.* Comprendiendo todos aquellos que son necesarios para la vida a bordo de la tripulación y pasajeros, como los servicios sanitarios, cocina y gambuza.
- *Alumbrado en sus distintos usos.*
- *Equipos electrónicos de navegación, comunicaciones y automación.*

De estos grupos, los cuatro primeros se alimentan de la red de fuerza del cuadro primario, mientras que los tres últimos lo hacen de la red de alumbrado (cuadro secundario).

Por lo tanto, la potencia eléctrica de los distintos equipos y servicios del buque proyecto se mostrará en el balance eléctrico del buque proyecto, que se desarrollará posteriormente en el apartado 6. A continuación se resumen las principales potencias de estos servicios.

### 3.1. Servicios de máquinas

Entre sus elementos principales, la mayoría dimensionados en el cuaderno 7 a partir de la potencia de los motores principales, se encuentran los siguientes:

- **Bomba de trasiego de Marine Diesel Fuel.** Se estimó en el cuaderno 7 una potencia de **27,9 kW** para este equipo.
- **Purificadoras.** 2 equipos de **85 kW** cada uno.
- **Bomba de llenado de aceite.** 2 equipos de **1,2 kW** cada uno.
- **Bomba de aceite de cilindros.** 2 equipos de **0,01 kW** cada uno.
- **Bomba de sentinas.** 2 equipos de **39 kW** cada uno.
- **Bomba auxiliar de sentinas.** Un equipo de **1,2 kW**.

- **Separador de sentinas.** Un equipo de **12 kW**.
- **Bomba de lodos.** Un equipo de **6,1 kW**.
- **Bombas stand-by HT y LT.** Dos equipos de **9,2 kW** cada uno.
- **Bomba de refrigeración de agua salada.** Se instalan 3 equipos, de los cuales uno es de respeto, de **504 kW** cada uno.
- **Precalentador.** 4 equipos de **45 kW** cada uno.
- **Compresor de aire de arranque.** 2 equipos de 15 kW cada uno.
- **Compresor de aire de servicios generales.** Un equipo de 4 kW de potencia.
- **Caldereta de exhaustación.** Hay una por cada motor, es decir, 4 de 35 kW de potencia.
- **Ventiladores de velocidad regulable.** 4 equipos de 7,5 kW cada uno.
- **Ventiladores reversibles.** 2 equipos de 5,5 kW cada uno.
- **Taller de cámara de máquinas.** Se aproxima la demanda de potencia de todos los equipos dentro de este local en 15 kW.
- **Grúa puente de cámara de máquinas.** Aproximadamente 4 kW.
- **Ventilador del local del generador de emergencia.** Un ventilador de 0,5kW.
- **Ventilador del local de los propulsores Azipod CO1400.** 2 ventiladores de 2,2 kW de potencia cada uno.

### 3.2. Servicios de casco y cubierta

- **Propulsores Azipod CO1400.** Como se explicó en el cuaderno 6, *Cálculo de potencia y proyecto de propulsores*, se decidió instalar sendos propulsores Azipod del grupo ABB con motores síncronos de **4500 kW** de potencia.
- **Propulsores transversales de proa.** También en el cuaderno 6, se explicó la elección de estos propulsores, eligiéndose finalmente dos propulsores de la casa Wärtsilä, modelo CT/FT200M, de **1262 kW** de potencia máxima.
- **Servicio de lastre.** Los consumidores de este servicio son:
  - *Bombas de lastre.* 2 bombas, con un consumo de **127 kW** cada una.
  - *Planta de tratamiento de agua de lastre por UV.* 2 plantas de **48,7 kW**.
- **Servicio de contra incendios.**
  - *Bombas contra incendios.* 2 bombas, con un consumo de **6 kW** cada una.
  - *Bomba contra incendios de emergencia.* **3 kW**.
  - *Bomba contra incendios rociadores.* **10 kW**.
  - *Sistema contra incendios con gas.* **1 kW**.
- **Molinete del ancla y maquinillas de amarre.** La potencia del molinete es **140 kW**, como se indicó en el cuaderno 8, y la de las maquinillas de amarre **30 kW**.

### 3.3. Servicios de carga/descarga

- **Grúas de cubierta.** Se estima una potencia de **10 kW** para este equipo.
- **Equipos de remolque y manejo de anclas.** Se estima una potencia total conjunta para todos estos equipos de cubierta de **8 kW**.
- **Bombas de carga/descarga de agua dulce.** 2 bombas **11,5 kW**.
- **Bombas de carga/descarga de MDO.** 2 bombas **22 kW**.
- **Unidad hidráulica.** 4 kW.
- **Bombas lodos líquidos.** 4 bombas de **22 kW** cada una.
- **Compresores.** 2 compresores de **15 CV** de potencia.
- **Grúas puente.** La demanda conjunta de todas ellas es, aproximadamente, **7,8 kW**.
- **Ventiladores bodega de carga.** Se instalan 2 ventiladores de velocidad regulable de **7,5 kW** cada uno.
- **Taller 1ª cubierta.** **9 kW**.

### 3.4. Habilitación

Los servicios de habilitación (servicios sanitarios, cocina y gambuza, ventilación y aire acondicionado, etc) presentan las siguientes estimaciones de potencia, basadas en el número de personas a bordo (45 personas):

- **Sistemas de agua.**
  - *Sistema de agua sanitaria.*
    - Bomba de trasiego de agua sanitaria, 2 bombas de **1,2 kW**.
    - Calentador de agua sanitaria, **47 kW**.
  - *Sistema de aguas residuales.*
    - Bomba de aguas grises y negras, **28 kW**.
    - Planta de tratamiento de aguas residuales, **3,5 kW**.
- **Sistema de climatización.** Los equipos principales de estos espacios y sus potencias aproximadas son:
  - *Climatización zona de habilitación.* Como se estimó en el cuaderno 8, se requiere una potencia de **41,5 kW**.
  - *Climatización puente de gobierno.* **8 kW**.
- **Equipo de refrigeración de las gambuzas.** Instalándose 2 equipos, se aproxima su consumo a **6 kW** cada uno.
- **Cocina y comedor.** Los equipos principales de estos espacios y sus potencias aproximadas son:
  - *Cocina.* 2 cocinasbas, con un consumo de **10 kW** cada una.
  - *Horno de pan.* **5 kW**.
  - *Frigorífico.* **0,5 kW**.

- *Freidora. 4 kW.*
- *Parrillas. 5 kW.*
- *Lavaplatos. 5 kW.*
- *Microondas. 2 equipos, con una potencia de 1 kW cada uno.*
- **Lavandería, secadora y plancha.** Las potencias aproximadas de cada equipos son:
  - *Lavadora industrial. Se instalan 2, con un consumo de 6 kW cada una.*
  - *Secadora. 2, con una potencia de 5 kW cada una.*
  - *Plancha. 3 kW.*
- **Incinerador.** Se estima una potencia de 7 kW para este equipo.

### 3.5. Alumbrado

El alumbrado del buque proyecto, tanto de las zonas interiores como de las zonas exteriores, presenta los siguientes consumos de potencia. La potencia requerida para el alumbrado interior se ha estimado teniendo en cuenta las superficies de las cubiertas de la habitación.

- **Alumbrado exterior.** Los equipos de alumbrado exterior requieren una potencia aproximada total de 14 kW. Son los siguientes:
  - *Iluminación de recintos exteriores.*
  - *Luces de navegación.*
  - *Luces de señales.*
  - *Luces Morse.* Se alimenta de la red de emergencia.
  - *Proyectores.*
- **Alumbrado interior.** La potencia necesaria para los equipos del alumbrado interior se detalla a continuación.

El método simplificado o aproximado que permite evaluar en una primera etapa de proyecto la potencia eléctrica necesaria en un buque o plataforma para la iluminación del mismo, teniendo en cuenta valores medios obtenidos con el método de los lúmenes, se puede escribir con la expresión:

$$P = 2,5 \cdot E_m \cdot \frac{S}{\eta_l}$$

- P: potencia consumida en W.
- $E_m$ : nivel medio de iluminación requerido en lx.
- S: suma de las superficies a iluminar.
- $\eta_l$ : rendimiento lumínico, siendo 50 lm/W para fluorescentes.

La tabla siguiente muestra las potencias consumidas en la iluminación interior por cada espacio:



Local	S (m <sup>2</sup> )	E (lux)	P (kW)
Puente de gobierno	195,3	230	2,25
Oficina	44,3	200	0,44
Camarotes	491,7	200	4,92
Baños	50	200	0,5
Pasillos y escaleras	115	200	1,15
Salones y comedor	218	200	2,18
Cocina	35	200	0,35
Gambuzas	81,8	150	0,61
Vestuarios	65	250	0,81
Hospital	65	250	0,81
Gimnasio	29,3	200	0,29
Lavandería y plancha	38	150	0,29
Pañoles	17	250	0,21
Zona de carga 2ª cubierta	437	250	5,47
Zona de carga cubierta Doble Fondo	255	250	3,19
Local de los Azipod CO1400	93	250	1,16
Cámara de máquinas	250	250	3,13
Sala control máquinas	20	150	0,15
Local hélices de proa	21	250	0,26
<b>TOTAL</b>			<b>28,17</b>

*Tabla 1. Estimación del consumo del alumbrado interior*

- **Alumbrado de emergencia.** Dispone de luces incandescentes situadas en los lugares vitales del buque, alimentándose de un grupo de baterías de 24 V. En el puente se dispone el cuadro de este alumbrado y un cargador de baterías alimentado a 220 V. EL consumo estimado es **10 kW**.

### 3.6. Equipos electrónicos de navegación, comunicaciones y automación

En el cuaderno 8 se indicó que, para los sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones, se estima en aproximadamente 25 kW la demanda conjunta de todos los equipos y servicios.

- **Sistemas de ayudas a la Navegación.** Se estima una potencia de **15 kW** para este sistema.
- **Comunicaciones.** Se considerará un consumo de **8 kW**.
- **Control y automación.** Aproximadamente **10 kW**.

### 3.7. Otros

Se incluyen en este apartado otros sistemas y equipos que no se incluyen en los grupos anteriores.

- **Maquinilla escala real.** Un consumo de **1 kW**.
- **Pescante del bote de recate.** Para este equipo se estima que se requiere una potencia de **5 kW**.
  - **Sistema hidráulico de puertas y escotillas.** Esta unidad hidráulica se dimensiona considerando dos equipos de **4 kW** cada uno.

## **4. Determinación de las diferentes situaciones de carga eléctrica**

Las situaciones de carga eléctrica más importantes que se deben analizar dentro del balance eléctrico del buque proyecto son las siguientes:

- **Navegación.** Situación del buque navegando en condiciones normales.
- **Maniobras.** Buque entrando o saliendo de puerto.
- **Remolque y manejo de anclas en posicionamiento dinámico (DP (AA)).** El buque trabajando en situación de posicionamiento dinámico cerca de plataformas oceánicas.
- **Puerto.** Situación en la que el buque está atracado en puerto, funcionando solamente los servicios ajenos a la propulsión.
- **Emergencia.** Situación de emergencia, con los servicios esenciales alimentados por el grupo de emergencia.

Cada estado de carga eléctrica representa una situación del buque, en la que el consumo de energía eléctrica por los distintos consumidores se considerará prácticamente constante.

## **5. Servicios esenciales y no esenciales**

Atendiendo a la importancia para la seguridad del buque de los distintos consumidores a bordo, éstos pueden pertenecer a:

- *Servicios no esenciales:* Si en caso de fallo del mismo no se ve afectada la operación segura del buque.

- *Servicios esenciales:* Son aquellos que son vitales para el mantenimiento de unas condiciones normales de propulsión y seguridad y un mantenimiento mínimo de habitabilidad y conservación de la carga.
- *Servicios de emergencia:* En este grupo se incluyen todos aquellos que deben funcionar en una situación de emergencia. Por supuesto todo servicio de emergencia es esencial y debe poder alimentarse desde la planta principal y, en caso de fallo de ésta, desde el grupo de emergencia.

Tal como se expone en la referencia [1], *Diseño General de la Planta Eléctrica*, del autor Amable López Piñeiro, los servicios esenciales según Lloyd's Register son:

- Propulsión y seguridad del buque:
  - Compresores de aire.
  - Sistema rociadores contra incendios.
  - Bombas lastre.
  - Bombas sentinas.
  - Bombas agua circulación y refrigeración.
  - Bombas circulación condensado.
  - Bombas extracción condensado.
  - Ventiladores aire forzado calderas.
  - Bombas agua alimentación.
  - Sistemas de detección contra incendios.
  - Bombas contra incendios.
  - Bombas refrigeración inyectoras.
  - Bombas lubricación.
  - Sistema iluminación principal.
  - Ayudas a la navegación.
  - Luces navegación.
  - Bombas combustible.
  - Separadoras centrífugas.
  - Compresores de barrido (turbosoplantes).
  - Accionamientos servo.
  - Ventiladores de cámara de máquinas.
  - Molinetes.
- Habitabilidad:
  - Cocina.
  - Calefacción.
  - Refrigeración doméstica.
  - Ventilación mecánica.
  - Agua dulce sanitaria.

Por otro lado, los servicios mínimos en situación de emergencia son, en general, durante 18 horas en buques de carga:

- Estaciones de evacuación (3 horas buques de carga).
- Iluminación emergencia en todos los recorridos de evacuación, cámara de máquinas, puestos de control, local servo, locales con equipo achique y/o contra incendios.
- Luces de navegación.
- Comunicaciones interiores y exteriores, ayudas a la navegación, sistemas de alarma y telecontrol contra incendios. Señales sónicas (uso intermitente).
- Bomba contra incendios de emergencia.
- Servomotor (hasta la parada efectiva del buque con la máxima arrancada).
- Puertas estancas.

## **6. Balance eléctrico**

El balance eléctrico de un buque, o análisis de cargas, es un estudio del conjunto de necesidades energéticas en las distintas situaciones de carga eléctrica. Se basa en un cálculo más probabilista que determinista, ya que su aspecto fundamental es la estimación de la potencia promedio que necesita cada consumidor, que será una fracción de la instalada.

Para la elaboración del balance eléctrico del buque proyecto se empleará el método clásico de balance, denominado así en la referencia [1]. Con lo cual, se debe confeccionar una tabla de doble entrada en la que en las filas se dispondrán los distintos consumidores y en las columnas las distintas situaciones de carga eléctrica.

Para pasar de la potencia consumida,  $P_c$ , a la demandada en cada situación de carga,  $P_f$ , se multiplica ésta por un coeficiente de utilización,  $K_u$ . En cada situación de carga, cada consumidor tendrá asignado un coeficiente de utilización,  $K_u$ , que es igual al producto de otros denominados:

- Coeficiente de simultaneidad,  $K_n$ , que refleja que en muchos casos existen equipos de reserva, fundamentalmente en los servicios esenciales.
- Coeficiente de servicio y régimen  $K_{sr}$ , que representa el grado de probabilidad de que una máquina esté trabajando a su potencia máxima y, en consecuencia, que absorba de la red la potencia consumida por esa máquina.

Por lo tanto, en cada situación de carga eléctrica habrá, para cada consumidor, una potencia final ( $P_f$ ) consumida o demandada que será igual a:

$$P_f = P_c \cdot K_u = P_c \cdot K_n \cdot K_{sr}$$

	Consumidor	Unidades		Kn	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Navegación		Maniobras		Posicionamiento dinámico		Puerto	
		Ins	Srv				Ksr	Pf (kW)	Ksr	Pf (kW)	Ksr	Pf (kW)	Ksr	Pf (kW)
Servicios de máquinas	Bomba trasiego de MDF	2	1	0,5	27,9	55,8	0,5	13,95	0,2	5,58	0,2	5,58	0,2	5,58
	Purificadoras	2	1	0,5	85	170	1	85	1	85	1	85	0,2	17
	Bomba llenado de aceite	2	1	0,5	1,2	2,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,1	0,12
	Bomba de aceite cilindros	2	1	0,5	0,01	0,02	1	0,01	1	0,01	1	0,01	0,2	0,002
	Bomba de sentinas	2	1	0,5	39	78	0,2	7,8	0,2	7,8	0,2	7,8	0,4	15,6
	Bomba auxiliar de sentinas	1	1	1	1,2	1,2	0,2	0,24	0,2	0,24	0,2	0,24	0,2	0,24
	Separador de sentinas	1	1	1	12	12	0,3	3,6	0,3	3,6	0,3	3,6	0,3	3,6
	Bomba de lodos	1	1	1	6,1	6,1	0,2	1,22	0,2	1,22	0,2	1,22	0,2	1,22
	Bombas stand-by HT y LT	2	2	1	9,2	18,4	1	18,4	1	18,4	1	18,4	0,3	5,52
	Bomba de refrigeración agua salada	3	2	0,7	504	1512	1	1058,4	1	1058,4	1	1058,4	0,2	211,68
	Precalentador	4	4	1	45	180	0,7	126	0,5	90	0,5	90	0,5	90
	Compresor de aire de arranque	2	1	0,5	15	30	0,3	4,5	0,5	7,5	0,5	7,5	0,3	4,5
	Compresor aire servicios generales	1	1	1	4	4	0,6	2,4	0,5	2	0,5	2	0,2	0,8
	Caldereta de exhaustación	4	4	1	35	140	0,9	126	0,6	84	0,6	84	0,2	28
	Ventiladores velocidad regulable	4	4	1	7,5	30	0,9	27	0,9	27	0,9	27	0,3	9
	Ventiladores reversibles	2	2	1	5,5	11	1	11	1	11	1	11	0,3	3,3
	Taller cámara de máquinas	1	1	1	15	15	0,3	4,5	0,2	3	0,3	4,5	0,3	4,5
	Grúa puente cámara de máquinas	1	1	1	4	4	0,1	0,4	0,2	0,8	0,2	0,8	0	0
	Ventilador local generador emergencia	1	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ventilador local propulsores Azipod	2	1	1	2,2	4,4	0,9	3,96	0,7	3,08	0,7	3,08	0,3	1,32
Servicios de casco y cubierta	Propulsores Azipod CO1400	2	2	1	4500	9000	0,9	8100	0,4	3600	0,4	3600	0	0
	Propulsores transversales de proa	2	1	0,5	1262	2524	0	0	0,8	1009,6	0,9	1135,8	0	0
	Bombas de lastre	2	2	1	127	254	0,2	50,8	0,5	127	0,5	127	0,1	25,4
	Planta tratamiento agua lastre	2	1	0,5	48,7	97,4	0,2	9,74	0,8	38,96	0,8	38,96	0,1	4,87
	Bomba contra incendios	2	2	1	6	12	0,2	2,4	0,2	2,4	0,2	2,4	0,2	2,4
	Bomba contra incendios emergencia	1	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bomba contra incendios rociadores	1	1	1	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sistema contra incendios con gas	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Molinete del ancla	1	1	1	140	140	0	0	0,8	112	0	0	0	0
	Chigres de amarre	2	2	1	30	60	0	0	0,3	18	0	0	0,4	24
Servicios de carga/descarga	Grúas de cubierta	2	2	1	10	20	0	0	0	0	0,8	16	0,7	14
	Equipos remolque y manejo anclas	1	1	1	8	8	0	0	0	0	0,8	6,4	0,7	5,6
	Bombas agua dulce	2	2	1	11,5	23	0	0	0	0	0,8	18,4	0,7	16,1
	Bombas MDO	2	2	1	22	44	0	0	0	0	0,8	35,2	0,7	30,8
	Unidad hidráulica	1	1	1	4	4	0	0	0	0	0,8	3,2	0,7	2,8
	Bombas lodos líquidos	4	3	0,75	22	88	0	0	0	0	0,8	52,8	0,7	46,2
	Compresores	2	2	1	11	22	0	0	0	0	0,8	17,6	0,7	15,4
	Grúas puente	1	1	1	8	8	0	0	0	0	0,8	6,4	0,7	5,6
	Ventiladores bodega de carga	2	1	0,5	7,5	15	0,7	5,25	0,7	5,25	0,5	3,75	0,2	1,5
	Taller	1	1	1	9	9	0	0	0	0	0,5	4,5	0,7	6,3
Habitación	Bomba trasiego agua sanitaria	2	1	0,5	1,2	2,4	0,7	0,84	0,6	0,72	0,6	0,72	0,6	0,72
	Calentador agua sanitaria	1	1	1	47	47	0,4	18,8	0,4	18,8	0,4	18,8	0,4	18,8
	Bombas agua caliente sanitaria	2	1	0,5	1,2	2,4	0,8	0,96	0,8	0,96	0,8	0,96	0,5	0,6
	Bomba aguas grises y negras	1	1	1	28	28	0,2	5,6	0,2	5,6	0,2	5,6	0,2	5,6
	Planta tratamiento aguas residuales	1	1	1	3,5	3,5	0,4	1,4	0,4	1,4	0,4	1,4	0,4	1,4
	Climatización zona de habilitación	1	1	1	41,5	41,5	1	41,5	1	41,5	1	41,5	1	41,5
	Climatización puente de gobierno	1	1	1	8	8	0,8	6,4	0,7	5,6	0,7	5,6	0,5	4
	Equipo refrigeración gambuzas	2	1	0,5	6	12	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3
	Cocina	2	1	0,5	10	20	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5
	Horno de pan	1	1	1	5	5	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1
	Frigorífico	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25
	Freidora	1	1	1	4	4	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8
	Parrillas	1	1	1	5	5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
	Lavaplatos	1	1	1	5	5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
	Microondas	2	2	1	1	2	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1
	Lavadora industrial	2	2	1	6	12	0,5	6	0,5	6	0,5	6	0,5	6
	Secadora	2	1	0,5	5	10	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
	Plancha	1	1	1	3	3	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9
	Incinerador	1	1	1	7	7	0,5	3,5	0,2	1,4	0,2	1,4	0,2	1,4
Alumbrado	Alumbrado exterior	1	1	1	14	14	0,5	7	0,5	7	0,9	12,6	0,5	7
	Alumbrado interior	1	1	1	28,17	28,17	0,8	22,536	0,8	22,536	0,8	22,536	0,8	22,536
	Alumbrado de emergencia	1	1	1	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Navegación Com. Autom.	Sistemas de ayudas a la navegación	1	1	1	15	15	0,8	12	0,8	12	0,8	12	0,5	7,5
	Comunicaciones	1	1	1	8	8	0,8	6,4	0,8	6,4	0,8	6,4	0,5	4
	Control y automación	1	1	1	10	10	0,9	9	0,9	9	0,9	9	0,1	1
Otros	Maquinilla escala real	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0
	Pescante bote de rescate	1	1	1	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sistema hidráulico puertas y escotillas	2	1	0,5	4	8	0,2	0,8	0	0	0	0	0,5	2

Tabla 2. Balance eléctrico del buque proyecto

La suma de todas las potencias finales de cada consumidor,  $P_f$ , da la potencia total a suministrar por la planta principal en cada situación de carga eléctrica,  $P_t$ . Se considerará un incremento del 2% en esta potencia total, debido a que, durante el tiempo de servicio del buque proyecto, la demanda eléctrica podrá variar.

Para calcular la potencia aparente total,  $S_t$ , se debe tener en cuenta el factor de potencia nominal de las distintas cargas a bordo. Por lo general el factor de potencia está entre 0,8 y 1. Al ser la propulsión del buque proyecto diesel-eléctrica, se supondrá un factor de potencia promedio para todos los consumidores de 0,8 ( $\cos \varphi = 0,8$ ), menos para los propulsores, que será de 0,92 ( $\cos \varphi = 0,92$ ).

Una vez se obtenga el balance eléctrico en cada una de sus situaciones de carga eléctrica (navegación, maniobras, posicionamiento dinámico, puerto), a parte se tratará el balance de emergencia.

	Navegación	Maniobras	Posicionamiento dinámico	Puerto
<b><math>P_t</math> (kW)</b>	9825,5	6480,9	6643,5	746,6
<b>Otros consumidores (<math>P_t \pm 2\%</math>)</b>	10022,0	6610,5	6776,4	761,5
<b><math>S_t</math> (kVA)</b>	10961,2	7349,6	7532,2	933,2

Tabla 3. Resultado del balance eléctrico para cada situación de carga eléctrica

## **7. Grupos generadores, incluido el de emergencia y puerto**

A pesar de haberse explicado en el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*, que el buque proyecto llevará instalados cuatro grupos electrógenos, en base a los requisitos de potencia de las tres necesidades de potencia principales del buque (velocidad en navegación, tiro a punto fijo y posicionamiento dinámico), en este apartado se comprobará que la elección de esos grupos (Wärtsilä Genset 9L34DF) es adecuada según el balance eléctrico realizado en el apartado anterior.

En este cuaderno se elige, además, el generador de emergencia. Para ello se deberán cumplir todas las prescripciones establecidas en el Convenio SOLAS en referencia a la energía eléctrica de emergencia.

Tal como se indica en la Regla 40-1 del Capítulo II-1 del Convenio SOLAS, las instalaciones eléctricas serán tales que queden garantizados: todos los servicios eléctricos auxiliares que sean necesarios para mantener el buque en condiciones normales de funcionamiento y habitabilidad sin necesidad de recurrir a la fuente de energía eléctrica de emergencia; los servicios eléctricos esenciales para la seguridad en las diversas situaciones de emergencia; y la seguridad de los pasajeros, de la tripulación y del buque frente a riesgos de naturaleza eléctrica.

Por otro lado, en la Regla 41, Fuente de energía eléctrica principal y red de alumbrado, se indica que se deberá proveer al buque proyecto de una fuente de energía eléctrica principal con capacidad suficiente para alimentar todos los servicios mencionados en el párrafo anterior. Esta fuente de energía eléctrica principal estará constituida por dos grupos electrógenos cuando menos. La capacidad de estos grupos electrógenos será tal que, aunque uno cualquiera de ellos se pare, sea posible alimentar los servicios necesarios para lograr condiciones operacionales normales de propulsión y seguridad. Habrá que asegurar también las condiciones mínimas de habitabilidad que hacen confortable el buque.

Además, los grupos electrógenos serán tales que, aun cuando deje de funcionar uno cualquiera de ellos o su fuente primaria de energía, los grupos electrógenos restantes puedan proveer los servicios eléctricos necesarios para el arranque de la planta propulsora principal partiendo de la condición de buque apagado. Cabrá utilizar la fuente de energía eléctrica de emergencia para el arranque, partiendo de la condición de buque apagado.

La elección hecha finalmente fue la de instalar 4 grupos electrógenos, debido a que el régimen de funcionamiento de los motores se adaptaría mejor a las diferentes situaciones de carga eléctrica del buque proyecto que instalando 2 grupos. Además se logra aumentar la seguridad del buque.

Los grupos elegidos son los **Wärtsilä Genset 9L34DF** de la casa Wärtsilä y motores de 4 tiempos, capaces de suministrar una potencia nominal en el motor de 4050kW cada uno a 750 rpm (50 Hz). Cada grupo tiene un peso de 84 toneladas y un rendimiento del generador acoplado del 96%, con lo que la potencia eléctrica de este es 3890 kW.

### **7.1. Régimen de utilización de los grupos electrógenos**

Se debe tener en cuenta que cada grupo diesel debe absorber no más allá del 90 ó 92 de la potencia eléctrica nominal (es decir tenido en cuenta el rendimiento motor generador que es del 96%), potencia eléctrica que da el fabricante, procurando que la carga de cada uno de ellos sea además superior al 70%.

La situación de puerto, normalmente cubierta por un motor auxiliar, podría admitir un régimen más bajo, hasta un 40-50% de su potencia, pero teniendo en cuenta que su funcionamiento es muy deficiente.

En la siguiente tabla se muestra el régimen de utilización de los grupos en función del número de ellos funcionando (N-1) y de la potencia requerida en las distintas situaciones de carga eléctrica.

		NAVEGACIÓN	MANIOBRAS	DP	PUERTO
Nº GRUPOS	kW	10022	6610,5	6776,4	761,5
1	3890	257,6 %	169,9 %	174,2 %	19,6 %
2	7780	128,8 %	85 %	87,1 %	9,8 %
3	11670	85,9 %	56,6 %	58,1 %	6,5 %

*Tabla 4. Régimen de utilización de los grupos electrógenos*

Se puede observar en el balance eléctrico realizado anteriormente que la situación de carga eléctrica que demanda mayor potencia es la de navegación. Hay que reseñar que las especificaciones del buque proyecto exigen que este tenga una velocidad de 17 nudos al 90% de MCR y que, como se explicó en el cuaderno 6, las estimaciones de potencia en aguas tranquilas y con un margen de mar del 15% diferían en 1200 kW aproximadamente. Con lo cual, durante el tiempo de servicio del buque proyecto, en la situación de navegación, con el funcionamiento de tres grupos se asegura un régimen de potencia entre el 84% y el 92% en esta situación.

Para las situaciones de carga eléctrica de maniobras y posicionamiento dinámico (remolque y manejo de anclas), el régimen de funcionamiento con tres grupos funcionando no llega al 60% y, sin embargo, con dos grupos el régimen se encuentra alrededor del 85%.

Por último, la situación de puerto presenta una carga máxima de menos del 25% y un solo grupo funcionando, con lo cual, se suministrará la energía eléctrica en esta situación mediante el grupo de emergencia y puerto. En algunos casos se podría también conectar al buque a la red terrestre del puerto.

## 7.2. Grupo de emergencia y puerto

Se debe proveer al buque de una fuente autónoma de energía eléctrica para las situaciones de emergencia y puerto. Para la correcta elección y dimensionamiento de esta fuente se debe cumplir con las prescripciones establecidas en el Capítulo II-1 del Convenio SOLAS en la Regla 43, Fuente de energía eléctrica de emergencia en los buques de carga, y en la Regla 44, Medios de arranque de los grupos electrógenos de emergencia. Estas reglas indican lo siguiente:

- La fuente de energía eléctrica de emergencia, el correspondiente equipo transformador, si lo hay, la fuente transitoria de energía de emergencia, el cuadro de distribución de emergencia y el cuadro de distribución de alumbrado de emergencia estarán situados por encima de la cubierta corrida más alta y tendrán acceso fácil desde la cubierta expuesta. No estarán situados a proa del mamparo de colisión, salvo que en circunstancias excepcionales lo autorice la Administración.
- La ubicación de la fuente de energía eléctrica de emergencia, del correspondiente equipo transformador, si lo hay, de la fuente transitoria de



energía de emergencia, del cuadro de distribución de emergencia y del cuadro de distribución de alumbrado de emergencia con respecto a la fuente de energía eléctrica principal, al correspondiente equipo transformador, si lo hay, y al cuadro de distribución principal será tal que asegure, de un modo que a juicio de la Administración sea satisfactorio, que un incendio o cualquier otro siniestro sufridos en el espacio que contenga la fuente de energía eléctrica principal, el correspondiente equipo transformador, si lo hay, y el cuadro de distribución principal, o en cualquier espacio de categoría A para máquinas, no dificultarán el suministro, la regulación ni la distribución de energía eléctrica de emergencia. En la medida de lo posible, el espacio que contenga las fuentes de energía eléctrica de emergencia, el correspondiente equipo transformador, si lo hay, la fuente transitoria de energía eléctrica de emergencia y el cuadro de distribución de emergencia, no será contiguo a los mamparos límite de los espacios de categoría A para máquinas o de los espacios que contengan la fuente de energía eléctrica principal, el correspondiente equipo transformador, si lo hay, y el cuadro de distribución principal.

- La energía eléctrica disponible será suficiente para alimentar todos los servicios que sean esenciales para la seguridad en caso de emergencia dando la consideración debida a los servicios que puedan tener que funcionar simultáneamente. Habida cuenta de las corrientes de arranque y la naturaleza transitoria de ciertas cargas, la fuente de energía eléctrica de emergencia tendrá capacidad para alimentar simultáneamente como mínimo y durante los períodos que se especifican los servicios siguientes, si el funcionamiento de éstos depende de una fuente de energía eléctrica:
  - Durante un periodo de 3 horas, alumbrado de emergencia en todos los puestos de embarco tanto en cubierta como fuera de los costados.
  - Durante un periodo de 18 horas, alumbrado de emergencia:
    - en todos los pasillos, escaleras y salidas de espacios de servicio y de alojamiento;
    - en los espacios de máquinas y en las centrales generatrices principales incluidos sus correspondientes puestos de mando;
    - en todos los puestos de control, en las cámaras de mando de máquinas y en cada cuadro de distribución principal y de emergencia;
    - en todos los paños de equipos de bombero;
    - en el aparato de gobierno;
    - en una de las bombas contra incendios, en la bomba de contra incendios con rociadores y en la bomba de emergencia para el achique de sentinas y en el punto de arranque de sus respectivos motores.
  - Durante un periodo de 18 horas:
    - las luces de navegación y demás luces prescritas en el Reglamento internacional para prevenir los abordajes;

- la instalación radioeléctrica de ondas métricas y la instalación radioeléctrica de ondas hectométricas;
- Durante un periodo de 18 horas:
  - todo el equipo de comunicaciones interiores necesario en una situación de emergencia;
  - los aparatos náuticos de a bordo;
  - el sistema de detección de incendios y de alarma; y
  - haciéndolos funcionar de modo intermitente, la lámpara de señales diurnas, el pito del buque, los dispositivos de alarma contraincendios de accionamiento manual y todas las señales interiores que se requieren en una situación de emergencia; a menos que estos servicios dispongan, para un periodo de 18 horas, de un suministro independiente procedente de una batería de acumuladores situada de modo que quepa utilizarla en caso de emergencia.
- Durante un periodo de 18 horas una de las bombas contraincendios.
- Durante al menos 12 horas el aparato de gobierno.
- La fuente de energía eléctrica de emergencia podrá ser un generador o una batería de acumuladores. Como la fuente de energía eléctrica de emergencia que se instalará en el buque proyecto es un generador, se deberá cumplirán con lo prescrito a continuación:
  - El generador estará accionado por un motor primario apropiado con alimentación independiente de combustible cuyo punto de inflamación (prueba en vaso cerrado) no sea inferior a 43°C;
  - arrancará automáticamente dado que falle el suministro de la fuente de energía eléctrica principal, a menos que haya instalada una fuente transitoria de energía eléctrica de emergencia; si el generador de emergencia arranca automáticamente, quedará conectado automáticamente al cuadro de distribución de emergencia; y
  - tendrá una fuente transitoria de energía eléctrica de emergencia, a menos que haya instalado un generador de emergencia que pueda alimentar los servicios mencionados en la normativa y arrancar automáticamente y suministrar la carga necesaria tan rápidamente como sea posible, sin riesgos y a lo sumo en 45 segundos.
- La fuente transitoria de energía eléctrica de emergencia prescrita en el párrafo anterior será una batería de acumuladores convenientemente situada para ser utilizada en caso de emergencia. Funcionará sin necesidad de recarga y manteniendo una tensión que como máximo discrepe de la nominal en un 12 por ciento de aumento o de disminución durante todo el periodo de descarga, y que podrá, por su capacidad y su disposición, alimentar automáticamente durante media hora por lo menos, dado que falle la fuente de energía eléctrica principal o la de emergencia, los servicios siguientes como mínimo, si el funcionamiento de éstos depende de una fuente de energía eléctrica:

- el alumbrado prescrito anteriormente. Para esta fase transitoria el alumbrado eléctrico de emergencia prescrito podrá proveerse, por lo que respecta al espacio de máquinas y a los alojamientos y espacios de servicio, mediante distintas lámparas de acumulador fijas, de carga automática y accionadas por relé; y
- todos los servicios siguientes, a menos que tales servicios dispongan para el periodo especificado de un suministro independiente, derivado de una batería de acumuladores convenientemente situada para utilización en caso de emergencia: equipo de comunicaciones interiores necesario en una situación de emergencia, sistema de detección de incendios y alarma, lámpara de señales diurnas, el pito del buque, los dispositivos de alarma contra incendios de accionamiento manual y todas las señales interiores que se requieren en una situación de emergencia.

Como resumen de todo lo anterior, se puede concretar que en el buque proyecto se instalará un grupo generador diesel que funcionará como grupo de emergencia y puerto. Con lo cual, al ser la fuente de emergencia un generador, se deberá disponer de un fuente de energía transitoria (a base de baterías que suministre energía a una serie de servicios especificados en la Regla durante media hora). La fuente de energía de emergencia estará instalada en el mismo espacio que el cuadro de distribución de emergencia, mientras que la fuente de energía transitoria nunca estará en el mismo lugar que el equipo de emergencia del buque.

Se deben distinguir los circuitos esenciales del buque, que son los considerados por la Sociedad de Clasificación como tales.

Para el cálculo de la potencia nominal tanto del grupo de emergencia y puerto, como de la fuente transitoria de energía eléctrica, hay que efectuar los correspondientes balances, pero con la particularidad de que, al ser pocos los consumidores a alimentar y poderse dar el caso de que todos estén funcionando a la vez, hay que tomar  $k_{sr} = 1$ .

El grupo de emergencia se debe sobredimensionar con objeto de que pueda servir como grupo de puerto. La potencia nominal de este grupo,  $S_{ge}$ , habrá de cumplir que:

$$S_{ge} \geq \frac{P_{te}}{0,8}$$

Siendo  $P_{te}$  la potencia nominal del grupo diesel-alternador.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla el balance eléctrico correspondiente a las situaciones de carga eléctrica de emergencia y de puerto:

# Cuaderno 9. Planta eléctrica

	Consumidor	Unidades		Kn	Potencia unitaria	Potencia total (kW)	Puerto		Emergencia	
		Ins	Srv				Ksr	Pf (kW)	Ksr	Pf (kW)
Servicios de máquinas	Bomba trasiego de MDF	2	1	0,5	27,9	55,8	0,2	5,58	0	0
	Purificadoras	2	1	0,5	85	170	0,2	17	0	0
	Bomba llenado de aceite	2	1	0,5	1,2	2,4	0,1	0,12	0	0
	Bomba de aceite cilindros	2	1	0,5	0,01	0,02	0,2	0,002	0	0
	Bomba de sentinas	2	1	0,5	39	78	0,4	15,6	1	39
	Bomba auxiliar de sentinas	1	1	1	1,2	1,2	0,2	0,24	1	1,2
	Separador de sentinas	1	1	1	12	12	0,3	3,6	0	0
	Bomba de lodos	1	1	1	6,1	6,1	0,2	1,22	0	0
	Bombas stand-by HT y LT	2	2	1	9,2	18,4	0,3	5,52	0	0
	Bomba de refrigeración agua salada	3	2	0,7	504	1512	0,2	211,68	0	0
	Precalentador	4	4	1	45	180	0,5	90	0	0
	Compresor de aire de arranque	2	1	0,5	15	30	0,3	4,5	1	15
	Compresor aire servicios generales	1	1	1	4	4	0,2	0,8	0	0
	Caldereta de exhaustación	4	4	1	35	140	0,2	28	0	0
	Ventiladores velocidad regulable	4	4	1	7,5	30	0,3	9	1	30
	Ventiladores reversibles	2	2	1	5,5	11	0,3	3,3	1	11
	Taller cámara de máquinas	1	1	1	15	15	0,3	4,5	1	15
	Grúa puente cámara de máquinas	1	1	1	4	4	0	0	1	4
Servicios de casco y cubierta	Ventilador local generador emergencia	1	1	1	0,5	0,5	0	0	1	0,5
	Ventilador local propulsores Azipod	2	1	1	2,2	4,4	0,3	1,32	1	4,4
	Propulsores Azipod CO1400	2	2	1	4500	9000	0	0	0	0
	Propulsores transversales de proa	2	1	0,5	1262	2524	0	0	0	0
	Bombas de lastre	2	2	1	127	254	0,1	25,4	0	0
	Planta tratamiento agua lastre	2	1	0,5	48,7	97,4	0,1	4,87	0	0
	Bomba contra incendios	2	2	1	6	12	0,2	2,4	1	12
	Bomba contra incendios emergencia	1	1	1	3	3	0	0	1	3
	Bomba contra incendios rociadores	1	1	1	10	10	0	0	1	10
	Sistema contra incendios con gas	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1
	Molinete del ancla	1	1	1	140	140	0	0	1	140
	Chigres de amarre	2	2	1	30	60	0,4	24	1	60
Servicios de carga/descarga	Grúas de cubierta	2	2	1	10	20	0,7	14	0	0
	Equipos remolque y manejo anclas	1	1	1	8	8	0,7	5,6	0	0
	Bombas agua dulce	2	2	1	11,5	23	0,7	16,1	0	0
	Bombas MDO	2	2	1	22	44	0,7	30,8	0	0
	Unidad hidráulica	1	1	1	4	4	0,7	2,8	0	0
	Bombas lodos líquidos	4	3	0,75	22	88	0,7	46,2	0	0
	Compresores	2	2	1	11	22	0,7	15,4	0	0
	Grúas puente	1	1	1	8	8	0,7	5,6	0	0
	Ventiladores bodega de carga	2	1	0,5	7,5	15	0,2	1,5	1	7,5
	Taller	1	1	1	9	9	0,7	6,3	0	0
Habitación	Bomba trasiego agua sanitaria	2	1	0,5	1,2	2,4	0,6	0,72	0	0
	Calentador agua sanitaria	1	1	1	47	47	0,4	18,8	0	0
	Bombas agua caliente sanitaria	2	1	0,5	1,2	2,4	0,5	0,6	0	0
	Bomba aguas grises y negras	1	1	1	28	28	0,2	5,6	0	0
	Planta tratamiento aguas residuales	1	1	1	3,5	3,5	0,4	1,4	0	0
	Climatización zona de habitación	1	1	1	41,5	41,5	1	41,5	1	41,5
	Climatización puente de gobierno	1	1	1	8	8	0,5	4	0	0
	Equipo refrigeración gambuzas	2	1	0,5	6	12	0,5	3	0	0
	Cocina	2	1	0,5	10	20	0,5	5	0	0
	Horno de pan	1	1	1	5	5	0,2	1	0	0
	Frigorífico	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0	0
	Freidora	1	1	1	4	4	0,2	0,8	0	0
	Parrillas	1	1	1	5	5	0,5	2,5	0	0
	Lavaplatos	1	1	1	5	5	0,5	2,5	0	0
	Microondas	2	2	1	1	2	0,5	1	0	0
	Lavadora industrial	2	2	1	6	12	0,5	6	0	0
	Secadora	2	1	0,5	5	10	0,5	2,5	0	0
	Plancha	1	1	1	3	3	0,3	0,9	0	0
	Incinerador	1	1	1	7	7	0,2	1,4	0	0
Alumbrado	Alumbrado exterior	1	1	1	14	14	0,5	7	1	14
	Alumbrado interior	1	1	1	28,17	28,17	0,8	22,536	1	28,17
	Alumbrado de emergencia	1	1	1	10	10	0	0	1	10
Navegación Com. Autom.	Sistemas de ayudas a la navegación	1	1	1	15	15	0,5	7,5	1	15
	Comunicaciones	1	1	1	8	8	0,5	4	1	8
	Control y automación	1	1	1	10	10	0,1	1	1	10
Otros	Maquinilla escala real	1	1	1	1	1	0	0	1	1
	Pescante bote de rescate	1	1	1	5	5	0	0	1	5
	Sistema hidráulico puertas y escotillas	2	1	0,5	4	8	0,5	2	1	4

Tabla 5. Balance eléctrico en las situaciones de puerto y emergencia

Al igual que antes, la suma de todas las potencias finales de cada consumidor,  $P_f$ , da la potencia total a suministrar por la planta principal en cada situación de carga eléctrica,  $P_t$ . Se considerará un incremento del 2% en esta potencia total, debido a que durante el tiempo de servicio del buque proyecto, la demanda eléctrica podrá variar.

	Puerto	Emergencia
<b>P<sub>te</sub> (kW)</b>	746,6	490,3
<b>Otros consumidores (±2%)</b>	761,5	500,1
<b>S<sub>ge</sub> (kVA)</b>	933,2	612,8

Tabla 6. Resultado del balance eléctrico para las situaciones de emergencia y puerto

El grupo electrógeno suele ser un grupo de 1500 o 1800 rpm. Son motores refrigerados por aire por la dificultad de llevar agua hasta su ubicación, además del incremento de coste. Tiene un cuadro de distribución eléctrica de emergencia que está conectado al cuadro principal, es decir durante el funcionamiento normal es parte del cuadro principal y si es en emergencia es el cuadro que actúa como tal.

El espacio del grupo de emergencia, lleva una salida de humos que hay que prever, así como el tanque de combustible, cuadro eléctrico y transformador. La cubicación del tanque de combustible tiene que estar de acuerdo con el tiempo que esté en funcionamiento, exigido por SOLAS. Siempre será combustible ligero.

Se elige el grupo electrógeno **Wärtsilä Genset W 6L20DF**, con una potencia nominal en el motor de 876 kW (146 kW/cyl, 1000 rpm, 50 Hz) y, asumiendo un rendimiento del alternador del 96%, la potencia eléctrica de salida es de 841 kW.

Al igual que los cuatro grupos electrógenos instalados en cámara de máquinas, este motor es de combustible dual de cuatro tiempos con 6 cilindros en línea, por lo que puede trabajar tanto con modo diesel como en modo gas.

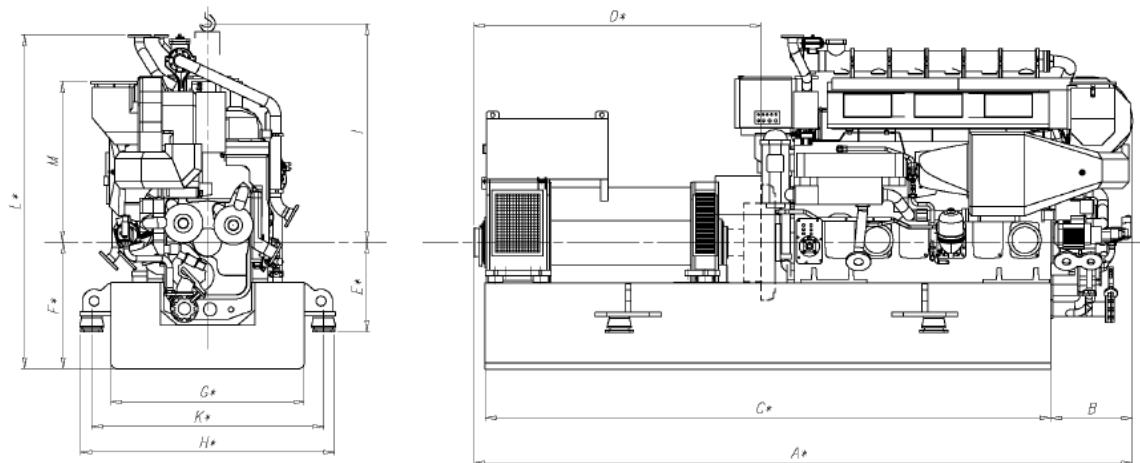


Figura 1. Plano del generador Wärtsilä W 6L20DF

A*	B	C*	D*	E*	F*	G*	H*	I	K*	L*	M*
5325	663	4575	2300	725	895	1270	1770	1800	1580	2605	1299

Tabla 7. Dimensiones principales de los Wärtsilä W 6L20DF

\*\*Dependant on generator and flexible coupling.  
All dimensions in mm.

Los datos técnicos principales de los motores dados por el fabricante son:

Cylinder bore.....	200 mm
Stroke.....	280 mm
Piston displacement.....	8,8 l/cyl
Number of valves.....	2 inlet valves and 2 exhaust valves
Direction of rotation.....	clockwise, counterclockwise on request
Speed.....	1000, 1200 rpm
Mean piston speed.....	9,3, 11,2 m/s

Respecto a la operación de los grupos en posiciones inclinadas, es decir, cuando se producen escoras, trimados o cabeceos; el fabricante indica los máximos ángulos de inclinación a los cuales el motor operará satisfactoriamente:

- Transverse inclination, permanent (list).....15°.
- Transverse inclination, momentary (roll).....22,5°.
- Longitudinal inclination, permanent (trim).....10°.
- Longitudinal inclination, momentary (pitch).....10°.

En cuanto al combustible que se puede emplear, se indican las especificaciones del fuel oil y el gas:

- Fuel oil specification:
  - 700cSt/50°C
  - 7200sR1/100°F
  - ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA, DMZ and DMB
- Natural gas:
  - Methane number: 80
  - LHV: min. 28 MJ/Nm<sup>3</sup>, 5,5bar
  - BSEC 7700 kJ/kWh

El consumo específico de este grupo de emergencia y puerto viene dado en función del régimen de funcionamiento de la siguiente forma:

- Fuel oil consumption (Modo diésel, MD y modo gas, MG)
  - At 100% load.....MD: 195 g/kWh ; MG: 3,9 g/kWh
  - At 75% load.....MD: 196 g/kWh ; MG: 5,3 g/kWh
  - At 50% load.....MD: 206 g/kWh ; MG: 4,3 g/kWh
- Fuel gas consumption
  - At 100% load.....7809 kJ/kWh
  - At 75% load.....8329 kJ/kWh
  - At 50% load.....9208 kJ/kWh

En el Product Guide de los grupos Wärtsilä W 6L20DF se indican los requerimientos cuando se trabaja a baja carga con el motor. El funcionamiento por debajo del 20% con HFO o por debajo de una carga del 10% con MDF o gas debe ser como máximo 100 horas de operación continua. A intervalos de 100 horas de funcionamiento, el motor deberá estar cargado al mínimo del 70% de la potencia nominal. Por otro lado, para la operación por encima de una carga del 20% con HFO o por encima de una carga del 10% con MDF o gas no hay restricciones.

El tipo de combustible líquido que empleará el grupo de emergencia y puerto es el mismo que el de los grupos electrógenos de cámara de máquinas: **Marine Diesel Fuel (MDF) tipo ISO-F-DMB** (Marine Diesel Oil) de densidad  $900 \text{ kg/m}^3$  y contenido máximo de azufre del 2% en masa.

Respecto al sistema de gas que se calculó en el cuaderno 7, se debe indicar que, en ese cuaderno, se hizo una estimación del gas necesario con los grupos Wärtsilä 9L34DF instalados en cámara de máquinas, entregando una potencia de 5000 kW y teniendo en cuenta una autonomía de 5 días. Por todo ello, una vez calculados en este cuaderno las potencias y los regímenes de utilización de los grupos electrógenos principales en las distintas situaciones de carga eléctrica, se estimará nuevamente la capacidad de los tanques de CNG (Compressed Natural Gas).

Se considera una autonomía de 5 días para la estimación de la capacidad de los tanques de CNG en operación normal (maniobras y puerto) y una autonomía para la situación de emergencia con consumo de combustible MDF de 18 horas.

a) Maniobras y puerto. Modo Gas, CNG

- *Maniobras.* En este caso es la condición del buque navegando cerca de puerto con 2 de los grupos electrógenos principales funcionando. Se dimensionan los tanques con una potencia de los motores de 6600 kW.

En modo gas se consume una pequeña cantidad de MDF (pilot fuel), 2,8 g/kWh, por lo que el volumen de este combustible necesario en este modo de operación es:

$$V_{MDF_{MG}} = \frac{6600kW \cdot 2 \cdot 0.0028 \frac{kg}{kW \cdot h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{900 \frac{kg}{m^3}} = 4,93m^3 \approx 5m^3$$

El consumo total de gas del buque se obtiene a partir de los consumos de cada motor (8067 kJ/kWh), del poder energético inferior del gas (28 MJ/Nm<sup>3</sup> a 0 grados y 101,3 kPa) y de la potencia de los motores:

$$Q_{gas} = \frac{2 \cdot 8067 \frac{kJ}{kWh} \cdot 6600kW}{28000 \frac{kJ}{m^3}} = 3803 \frac{m^3}{h}$$

El volumen que se ha de extraer de los tanques de almacenamiento de CNG, teniendo en cuenta una autonomía de 5 días, y una presión de los tanques de 30 MPa (300 bar) será por tanto:

$$V_{CNG} = \frac{Q_{gas} \cdot 5días}{P_{CNG}} = \frac{3803 \frac{m^3}{h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{300bar} = 1521,2 Nm^3$$

- *Puerto.* Esta es la condición del buque amarrado en puerto, con el grupo de emergencia y puerto como único grupo electrógeno que abastece de energía eléctrica al buque proyecto. La autonomía considerada es también de 5 días y la potencia de este motor es de 876 kW.

El consumo de MDF (pilot fuel) en modo gas es de 5,3 g/kWh, por lo que el volumen de este combustible necesario en este modo de operación es:

$$V_{MDF_{MG}} = \frac{876kW \cdot 0.0053 \frac{kg}{kW \cdot h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{900 \frac{kg}{m^3}} = 0,62m^3$$

Como se hizo antes, el consumo total de gas se obtiene a partir del consumo del motor del grupo de emergencia y puerto (8329 kJ/kWh), del poder energético inferior del gas (28 MJ/Nm<sup>3</sup> a 0 grados y 101,3 kPa) y de la potencia del motor (876 kW):

$$Q_{gas} = \frac{8329 \frac{kJ}{kWh} \cdot 876kW}{28000 \frac{kJ}{m^3}} = 261 \frac{m^3}{h}$$

El volumen que se ha de extraer de los tanques de almacenamiento de CNG, teniendo en cuenta una autonomía de 5 días en puerto, y una presión de los tanques de 30 MPa (300 bar) será por tanto:

$$V_{CNG} = \frac{Q_{gas} \cdot 5días}{P_{CNG}} = \frac{261 \frac{m^3}{h} \cdot 5días \cdot 24 \frac{h}{día}}{300bar} = 104,4 Nm^3$$

Aplicando un margen del 5% a los volúmenes obtenidos, los tanques almacén de combustible gas CNG deberán tender entonces la capacidad mínima de 1625,6 Nm<sup>3</sup>.

La capacidad total de los tanques de CNG será entonces de 1872 Nm<sup>3</sup>, ya que se instalarán seis tanques de 312 Nm<sup>3</sup> de capacidad cada uno. Por ello:

<b><i>Tanques de CNG = 1872 Nm<sup>3</sup></i></b>
--



b) Emergencia. Modo diesel, MDF

El volumen de MDF en modo diésel es el siguiente. El consumo medio de los motores es  $C = 0,196 \text{ kg/kWh}$ , la densidad del combustible  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  y la autonomía 18 horas.

$$V_{MDF_{MD}} = \frac{P \cdot C \cdot D \cdot 24}{\rho} = \frac{876 \text{ kW} \cdot 0,196 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 18 \text{ h}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3,5 \text{ m}^3$$

Al igual que en los grupos electrógenos de cámara de máquinas, antes de que el gas se suministre al motor, éste debe pasar a través de una Unidad de Válvula de Gas, Gas Valve Unit (GVU).

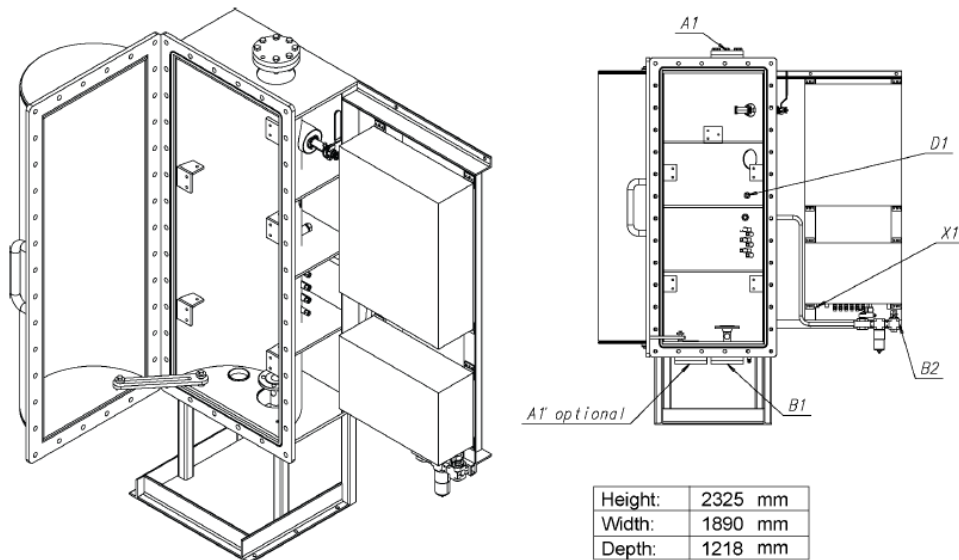


Figura 2. Principales dimensiones de la GVU

El régimen de utilización del grupo de emergencia y puerto queda, por tanto, de la siguiente forma:

		PUERTO	EMERGENCIA
GRUPO EMERGENCIA Y PUERTO	kW	761,5	500,1
1	841	90,5 %	59,5 %

Tabla 8. Régimen de utilización del grupo de emergencia y puerto

El funcionamiento de este grupo es aceptable, ya que se encuentra entre el 70 y 92% recomendado en la situación de puerto.

El local del grupo de emergencia y puerto se ubica en la cubierta castillo.

### 7.3. Fuente transitoria de energía eléctrica

Por parte de la fuente transitoria, su capacidad viene condicionada por su tiempo de funcionamiento,  $T_r$ , que como mínimo será de 30 minutos. Teniendo en cuenta esto, la capacidad mínima ( $C$  en amperios) se obtendrá a partir de las ecuaciones:

$$P_{tt} = V_{cc} \cdot I_n$$

$$C = I_n \cdot T_r$$

En este caso conviene tomar un amplio margen para tener en cuenta el efecto de envejecimiento de las baterías y su pérdida de tensión al irse descargando, por lo que conviene tomar  $T_r$  igual a 1 hora. Para la situación transitoria se estima una potencia de 43 kW. Por tanto, se estima que la capacidad necesaria es de:

$$C = \frac{P_{tt}}{V_{cc}} \cdot T_r = \frac{43000W}{24V} \cdot 1h = 1792Ah$$

Las baterías se sitúan en la cubierta castillo, al igual que el grupo de emergencia y puerto.

Para el dimensionamiento del cargador se puede partir del tiempo de carga, que varía entre 5 y 10 horas; teniendo en cuenta el rendimiento del sistema y un cierto margen podemos estimar que su consumo (para el balance de la planta principal) es igual a  $P_{tt}/3$ , con un  $K_{sr}$  mínimo (0,2 por ejemplo). Con lo cual, se concluye que el cargador para el buque proyecto consumirá 3 kW.

## 8. Cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto

A continuación se presenta el cuadro resumen con el régimen de utilización de los grupos electrógenos instalados en el buque proyecto: grupos principales y grupo de emergencia y puerto.

	Navegación	Maniobras	DP	Puerto	Emergencia
Potencia nominal (kW)	9825,5	6480,9	6643,5	746,6	490,3
Potencia requerida ( $\pm 2\%$ ) (kW)	10022	6610,5	6776,4	761,5	500,1
Nº grupos (3890 kW )	3	2	2	0	0
Potencia total entregada (kW)	11670	7780	7780	-	-
Nº grupos emergencia/puerto (841 kW)	-	-	-	1	1
Potencia total entregada (kW)	-	-	-	841	841
<b>Régimen MCR</b>	<b>85,9 %</b>	<b>85 %</b>	<b>87,1 %</b>	<b>90,5 %</b>	<b>59,5 %</b>

Tabla 9. Cuadro resumen del régimen d utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto

## **9. Cuadros de distribución**

Se entiende por cuadro eléctrico a todo armario o caja, en cuyo interior se disponen diversos equipos de aparamenta o control. A bordo suelen ser de tipo metálico, normalmente de chapa de acero pintada, debiendo estar tanto las paredes como las puertas conectadas a tierra eficazmente, con objeto de que actúen como pantalla ante las radiaciones electromagnéticas.

La estructura de los cuadros los hace autoportantes, pudiendo tener el fondo abierto totalmente o por medio de una rejilla; en los laterales y el fondo suelen tener aberturas adecuadas para el paso de los cables y barras y en el lado anterior se dispone la puerta. Los cuadros principales también suelen disponer de puertas (o paneles desmontables) en el fondo. El conjunto ha de ser tal que ninguno de los elementos que pueda tocar el operador esté bajo tensión.

En el frente se disponen los elementos de “interfase hombre-máquina”, como lámparas, interruptores, pulsadores, instrumentos de medida y, en el interior, los elementos de aparamenta y las conexiones de los conductores. Normalmente se soportan sobre un panel interior perforado, o por medio de una serie de perfiles de forma adecuada (carril DIN) para facilitar la colocación de los elementos de menor peso.

Otro aspecto de interés es la ventilación del cuadro. Normalmente se realiza por convección natural, existiendo para ello aberturas troqueladas o rejillas en la parte inferior y superior. En algunos casos existe un techo con “vierte aguas”, ligeramente separado del bastidor principal. En casos de necesidad de disipación de un volumen de calor importante, como cuando incorporan transformadores, resistencias o equipos de electrónica de potencia, puede ser necesaria una refrigeración forzada por medio de ventiladores y, en casos extremos, con un circuito de agua (por ejemplo cuando incorporan módulos de electrónica de potencia).

Además de los grandes cuadros, tipo armario, existen cuadros medianos y pequeños (cajas) que incorporan elementos de intensidad nominal limitada. En este caso la disipación térmica a través de la envuelta es suficiente, pudiendo ser de tipo estanco.

En el apartado 2.4.de este cuaderno se indicó que los consumidores de mayor potencia del buque proyecto se alimentarán de dos cuadros distintos, según la demanda de cada uno de los equipos, que se denominarán cuadro principal y cuadro primario. En el cuadro principal la tensión de fuerza será de **690 V a 50 Hz**, al cual se conectan los equipos de propulsión, mientras que en el cuadro primario las conexiones serán las de instalaciones de fuerza a **380 V y 50 Hz**, como los equipos de sistemas generales del buque o los de carga/descarga. Por otra parte, en el cuadro secundario se empleará una red de **230 V** de corriente alterna monofásica, obtenida a partir de la red de fuerza por medio de transformadores, para la red de alumbrado y consumos de habilitación). Adicionalmente, se dispondrá de una red de corriente continua de **24 V**, para los equipos y sistemas electrónicos.

### 9.1. Cuadro principal

En todos los buques (e instalaciones marinas) existe un cuadro principal que constituye el auténtico centro de la planta principal. La misión del cuadro principal es múltiple:

- Ser el punto de conexión de los distintos generadores a la red, incorporando su aparamenta de protección, medida y, en parte, de regulación.
- Alojar los elementos del equipo de sincronización, reparto de cargas y protección general (detector de fugas).
- Incorporar los elementos de distribución de primer nivel de la red, incluyendo sus instrumentos de medida y aparamenta de protección.
- Incorporar los convertidores de medida analógicos y digitales que sirven para transmitir el estado de la planta eléctrica al sistema de automación.

Internamente los distintos módulos (armarios o paneles) se conectan por medio de las barras principales (por las que pasa la totalidad de la corriente de la planta), las auxiliares (que son un reflejo de la tensión de las principales) y las de alimentación a los circuitos de mando (a 220 V).

Existe una cierta división vertical. En la parte superior suelen colocarse los instrumentos de medida, lámparas y los interruptores o conmutadores de pequeño tamaño y, en la inferior, los interruptores de mayor potencia u otros elementos internos. En otros casos en vertical existen dos módulos con misiones diferenciadas.

El cuadro principal consta, básicamente, de los siguientes elementos:

- *Barras*: Realizaran la conexión entre los módulos
- *Interruptores principales*: Interruptores de potencia situados en el módulo de cada generador y conectados entre éste y las barras. Su misión es conectar y desconectar el generador de la red y, sobre todo, proteger al generador y al resto de la red.
- *Módulo de sincronización*: Su misión es que la conexión de un grupo a barras, cuando ya están otros funcionando, se realice de forma suave para que no se disparen los interruptores principales.

Los relés de protección de los generadores por sobrecarga se podrán regular a un 100% - 130% de su valor nominal.

### 9.2. Cuadro de emergencia

El siguiente cuadro en importancia a bordo es el cuadro de emergencia. Se sitúa en el mismo local que el grupo de emergencia y cuenta con conexión a los siguientes elementos:

- Grupo de emergencia.
- Servicios de emergencia de fuerza (380 V).
- Transformador y red de alumbrado de emergencia (220 V).
- Conexión al cuadro principal.

Por otro lado, en el cuadro de emergencia, o en sus proximidades se suelen situar los automatismos de control correspondientes. Entre las funciones que suelen realizar se encuentran:

- Precalentamiento (y a veces prelubricación) del grupo.
- Supervisión del sistema de arranque (batería o aire comprimido) y de combustible.
- Arranque del grupo ante caída de tensión en el cuadro principal (black-out) por medio de motor eléctrico o neumático. Se suelen realizar tres intentos, sonando una alarma en caso de fallo de los mismos.
- Cierre del interruptor del grupo de emergencia,
- Conexión de los servicios al cuadro de emergencia.

La desconexión del cuadro de emergencia y paro de su grupo suele hacerse de forma manual.

### **9.3. Cuadros de distribución: secundarios y terminales**

El resto de los cuadros del buque se denominan de distribución. Su número depende fundamentalmente de la potencia y número de los consumidores. En el interior de los cuadros de distribución tan solo se incorporan las conexiones de derivación de cada circuito, con los elementos de protección y conexión correspondientes (fusibles e interruptores).

Se instalarán los cuadros secundarios de distribución que sean necesarios, desde donde partirán los servicios de las diferentes secciones del buque. Todas las cajas de distribución serán estancas, excepto las de los locales de acomodación.

Se denominan cuadros terminales a los de último nivel, los cuales suelen alimentar una carga o un grupo de cargas, cada una con sus circuitos de protección, mando y control. Como en la mayoría de los casos cada carga final es un motor, sus detalles de operación y cableado se estudian con los motores.

Además, es conveniente indicar que, en el diseño de la distribución, los distintos elementos de reserva dentro de un mismo servicio esencial, deben alimentarse por caminos distintos y, por lo tanto, no deben compartir cuadros de distribución.

#### **9.4. Cuadro de conexión a tierra**

Mención aparte merece el cuadro de conexión a tierra. Su misión es permitir que el buque se alimente en puerto de la red terrestre, con todos los grupos parados. No está previsto que pueda funcionar en paralelo con ninguno de los grupos del buque y debe incorporar sistemas de conexión y protección normalizados.

La conexión a tierra de 380V se conectará al cuadro principal de 380V. La operación estará asociada al bloqueo de otros interruptores del cuadro principal. En el cuadro de 380V se instalarán 2 contactores, que estarán conectados de forma que al seleccionar uno u otro cambiará la secuencia de fase.

#### **9.5. Cuadro de luces de navegación**

Se instalará en el puente de gobierno el cuadro de las luces de navegación, provisto de interruptores y fusibles para todas las luces reglamentarias.

Las luces, que serán con doble lámpara, se alimentarán desde el cuadro principal a través de un rectificador, y en caso de necesidad (por blackout) se conmutará automáticamente el cuadro de bajo voltaje alimentado por el grupo de emergencia.

Se adecuará un selector de luces en la consola del puente de gobierno y la instalación estará provista de un sistema de alarma (acústica y óptica) para indicación de fallo de cualquiera de las luces.

#### **9.6. Transformadores**

La tensión utilizada en la red de fuerza es de 380 V y en la red de alumbrado 220 V, mientras que la tensión de salida en los grupos electrógenos es de 690 V. Por tanto habrá que ajustar la tensión de salida de estos grupos a la de los receptores, y para ello utilizaremos un conjunto de transformadores.

Para determinar la capacidad de los transformadores, lo primero que se debe hacer es conocer qué consumidores dependen de él en el cuadro de distribución, asumiendo que cada transformador será capaz de funcionar en caso de que el transformador en paralelo esté fuera de servicio. Esto hace que cada transformador tenga capacidad para cubrir toda la potencia demandada.

Se disponen dos transformadores que cambien la tensión de 690V a 380V, con capacidad cada uno para absorber la potencia de toda la red a 380V. Del mismo modo se disponen dos transformadores que cambien la tensión de 380V a 220V. Además se dispondrán otros dos transformadores en el local del grupo de emergencia y puerto emergencia que cambien la tensión de 380V a 220V.

## **10. Cables y diagrama unifilar**

### **10.1. Cables eléctricos**

Los cables eléctricos conectan dos puntos de una instalación, transportando entre ellos energía o información. A bordo de los buques existe una gran diversidad de cables, especialmente en cámara de máquinas, debiendo procurarse que su peso y empacho sean lo más reducido posible. Además, el ambiente es muy agresivo, tanto desde el punto de vista químico (humedad salina, resistencia al fuego, etc.) como de resistencia mecánica (conductos estrechos, múltiples curvaturas, etc.). Por ello sus características difieren en algunos aspectos con respecto a los usuales en tierra.

El dimensionamiento y elección del tipo de cables deberá estar de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento de Lloyd's Register y con la norma UNE 21-135 94, que se refiere a las "Instalaciones eléctricas en buques", especificando las características que deben cumplir los cables marinos. La colocación física de los cables a bordo debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Un mínimo recorrido con objeto de reducir los costes de adquisición, instalación y pérdidas.
- Unos recorridos y protección que reduzcan al máximo el riesgo de accidentes y que la alimentación a servicios esenciales no se interrumpa por un accidente localizado. Esto suele obligar a recorridos más largos.
- Un recorrido compatible con otros servicios y una división en zonas o tramos que permita al máximo una construcción modular para el astillero.
- Procurar que no haya interferencias entre los cables de potencia y señal.

Esta situación es especialmente crítica en zonas de máquinas y habilitación. Por ello el proyecto de construcción debe ser abordado por la oficina técnica del astillero, en paralelo con el de otros servicios, teniendo en cuenta la estrategia constructiva empleada.

Los conductores se dimensionan para poder soportar el 100% de la potencia generada por cada grupo.

## 10.2. Diagrama unifilar

A continuación se incluye un esquema del diseño unifilar del buque proyecto. El cuadro de emergencia siempre debe estar conectado al cuadro principal con los enclavamientos necesarios para que la conexión se realice cuando uno de los dos esté sin tensión, de modo que nunca trabajarán en paralelo.





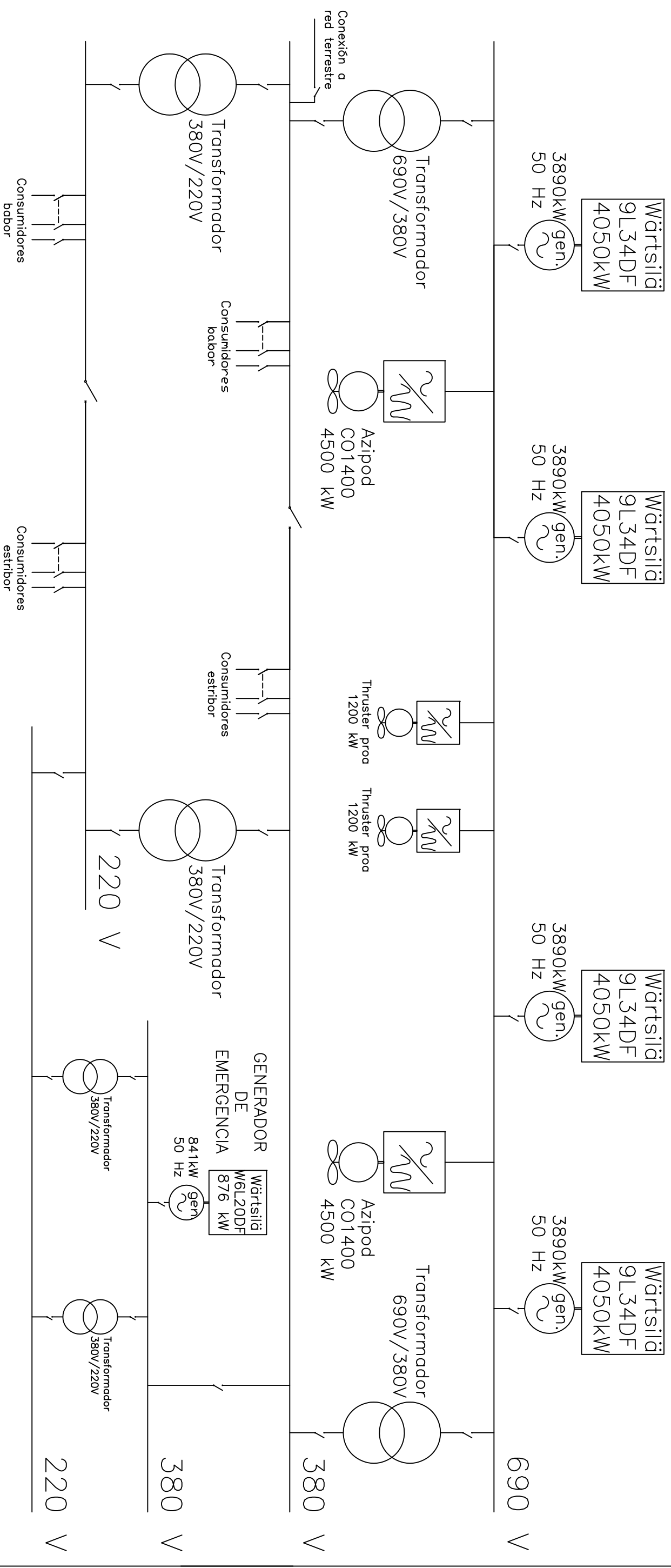
## **11. Bibliografía general.**

### **11.1. Bibliografía básica**

- [1] Amable López Piñeiro. *Diseño General de la Planta Eléctrica*. ETSIN.
- [2] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [3] *Convenio SOLAS*. OMI.
- [4] Amable López Piñeiro. *Iluminación a bordo*. ETSIN.
- [5] Wärtsilä. [Web en línea]. <> <http://www.wartsila.com/>
- [6] Amable López Piñeiro. *Distribución eléctrica a bordo*. ETSIN.


### **11.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. World Diamond. <> <http://www.offshoreenergytoday.com/>



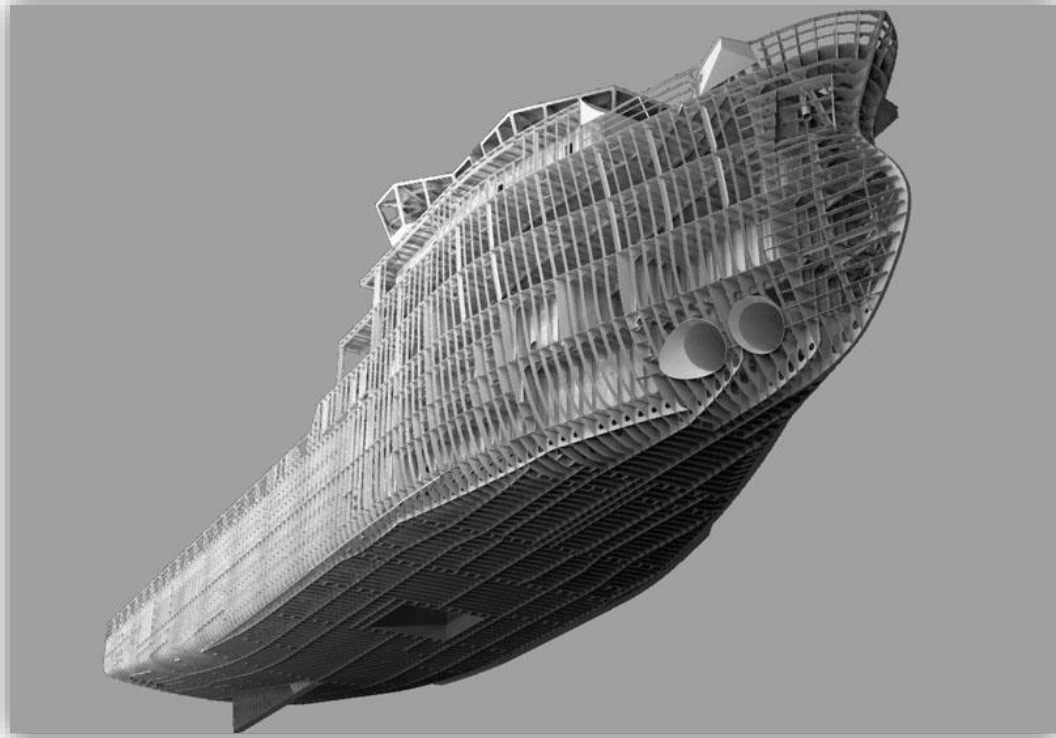
## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA MÁXIMA, Loo	85,00 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES, Lpp	81,46 m
MANGA, B	21,70 m
CALADO DE DISEÑO, T	7,70 m
ALTURA A 1º CUBIERTA	9,40 m
PESO MUERTO	4500 TPM
CLARA ENTRE CUADERNAS:	650 mm

	E.T.S.I. NAVALES			AUTOR:	
				José Larrañeta García	
				TUTOR:	
				José María Riola Rodríguez	
	FORMATO:	HOJA:	Nº PFC:	BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL NORTE 4500 TPM	
	A3	1/1	223		
				DISEÑO:	
				FECHA:	
				18/12/2014	
DIAGRAMA UNIFILAR					

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 10**

**Resistencia estructural**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor:* **José María Riola Rodríguez**

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Criterios de cálculo. Justificación de materiales.....</b>	<b>5</b>
2.1. Definición de parámetros de escantillonado.....	5
2.1.1. Eslora de escantillonado o eslora reglamentaria, $L_e$ .....	5
2.1.2. Cuaderna maestra .....	5
2.1.3. Manga, B .....	5
2.1.4. Puntal, D.....	5
2.1.5. Calado, T .....	6
2.1.6. Coeficiente de bloque, $C_b$ .....	6
2.1.7. Eslora entre perpendiculares, $L_{pp}$ .....	6
2.1.8. Eslora de la línea de carga, $L_L$ .....	6
2.1.9. Máxima velocidad de servicio, V .....	6
2.2. Disposición estructural .....	7
2.3. Materiales de construcción .....	9
<b>3. Resistencia longitudinal: momentos flectores, módulo resistente en la sección maestra, momento de inercia mínimo y esfuerzos cortantes .....</b>	<b>11</b>
3.1. Momentos flectores .....	11
3.1.1. Momento flector en ola .....	11
3.1.2. Momento flector en aguas tranquilas .....	13
3.2. Módulo resistente de la cuaderna maestra.....	14
3.2.1. Módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra .....	14
3.2.2. Módulo resistente de diseño de la cuaderna maestra .....	14
3.3. Tensión a flexión admisible .....	14
3.4. Factores de reducción local .....	15
3.5. Momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra .....	16
3.6. Esfuerzos cortantes.....	16
3.6.1. Esfuerzo cortante en olas .....	17
3.6.2. Esfuerzo cortante en aguas tranquilas .....	18
3.6.3. Tensión cortante máxima admisible.....	18
<b>4. Cálculo de la Cuaderna Maestra.....</b>	<b>18</b>
4.1. Espaciado de refuerzos.....	18
4.2. Escantillonado de los elementos estructurales .....	19
4.2.1. Escantillonado de las planchas del casco .....	19
4.2.2. Estructura de cubiertas internas.....	26
4.2.3. Escantillonado de mamparos estructurales .....	27
4.2.4. Escantillonado de refuerzos primarios .....	28
4.2.4.1. Escantillonado de los refuerzos primarios longitudinales .....	28
4.2.4.2. Escantillonado de los refuerzos primarios transversales .....	30
4.2.5. Escantillonado de refuerzos secundarios.....	32
4.2.6. Puntales .....	36
4.2.7. Resumen del escantillonado de los elementos estructurales .....	37
4.3. Cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra .....	38

<b>5. Comprobación de resistencia general, con situaciones de carga preliminares, y comprobación de tensiones según reglamentos .....</b>	<b>40</b>
5.1. Comprobación de resistencia general .....	40
5.1.1. Situaciones de carga preliminares .....	40
5.1.2. Módulo de resistencia .....	40
5.1.3. Momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra.....	41
5.2. Comprobación de tensiones según reglamentos.....	41
<b>6. Plano de la cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Bibliografía general .....</b>	<b>44</b>
7.1. Bibliografía básica.....	44
7.2. Bibliografía complementaria.....	44
<b>ANEXO I – Perfiles bulbo .....</b>	<b>.....</b>
<b>ANEXO II – Perfiles HE .....</b>	<b>.....</b>
<b>ANEXO III – Perfiles L .....</b>	<b>.....</b>

## **Figuras**

Figura 1. Escantillonados reglamentarios – Diseño esquemático de requisitos .....	7
Figura 2. Construcción del doble fondo .....	28

## **Tablas**

Tabla 1. Clases y grado del acero .....	10
Tabla 2. Grados del acero .....	11
Tabla 3. Resumen del escantillonado del buque proyecto.....	38
Tabla 4. Cálculo del centro de gravedad, inercia y módulo de la cuaderna maestra.....	39

## **Gráficos**

Gráfico 1. Momento flector en ola .....	12
Gráfico 2. Distribución del momento flector en aguas tranquilas para la condición de plena carga.....	13
Gráfico 3. Distribución de tensiones máximas admisibles a lo largo de la eslora .....	15
Gráfico 4. Factor $K_1$ de esfuerzo cortante .....	17
Gráfico 5. Esfuerzo cortante en olas.....	17

## **1. Introducción**

El buque proyecto debe ser capaz de soportar todos los momentos y esfuerzos a los que se ve sometido en el medio en el que se desenvuelve, además de su propio peso y las aceleraciones que resultan de él. En este cuaderno se hace el escantillonado de la estructura y la comprobación de resistencia general, para lo cual se seguirán las reglas de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register.

En buques de eslora pequeña y media, los esfuerzos de flexión viga-buque no son tan importantes como en los buques de eslora grande, ya que, considerándolos como una viga, la disposición a la flexión es pequeña. Sin embargo, sí se pueden producir esfuerzos localizados importantes por flexión de refuerzos y planchas.

Una vez hechos los cálculos del escantillonado del buque se elabora el plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales, comprobando que se satisfacen los criterios de la Sociedad de Clasificación.

## **2. Criterios de cálculo. Justificación de materiales**

### **2.1. Definición de parámetros de escantillonado**

En la Reglamentación de Lloyd's Register, Parte 3, Ch.1 Sc.6.1, se indican las definiciones de los parámetros principales necesarios para el escantillonado del buque proyecto. Son conceptualmente distintos a los que se emplean cuando nos referimos a las dimensiones principales del buque o a los empleados en el Convenio Internacional de Líneas de Carga.

#### **2.1.1. Eslora de escantillonado o eslora reglamentaria, $L_e$**

Para buques sin timones, la eslora de escantillonado debe ser tomada como el 97 % de la eslora máxima en la línea de carga de verano. Por tanto:

$$L_e = 82,50 \text{ m}$$

#### **2.1.2. Cuaderna maestra**

La cuaderna maestra debe tomarse como la sección media de la eslora de escantillonado, y su posición es medida desde la perpendicular de popa. La posición de la cuaderna maestra  $X_F$  es, por ello:

$$X_F = 40,95 \text{ m}$$

Es decir, en la cuaderna 63.

#### **2.1.3. Manga, $B$**

Es la manga máxima de trazado.

$$B = 21,70 \text{ m}$$

#### **2.1.4. Puntal, $D$**

El puntal,  $D$ , se mide, en metros, a la mitad de la eslora,  $L$ , desde el canto alto de la quilla hasta el canto superior en el costado de la cubierta continua más alta.

$$D = 9,40 \text{ m}$$



### 2.1.5. Calado, $T$

El calado,  $T$ , es el calado de verano, en metros, medido desde el canto superior de la quilla.

$$T = 7,70 \text{ m}$$

### 2.1.6. Coeficiente de bloque, $C_b$

El coeficiente de bloque,  $C_b$ , es el coeficiente de bloque al calado  $T$ , correspondiente a la línea de carga de verano, dependiendo de la eslora de escantillonado,  $L_e$ , y de la manga,  $B$ , de esta forma:

$$C_b = \frac{\nabla}{L_e B T} = 0,60$$

### 2.1.7. Eslora entre perpendiculares, $L_{pp}$

La eslora entre perpendiculares,  $L_{pp}$ , es la distancia, en metros, en la línea de carga de verano desde la cara de proa de la roda, hasta la intersección de la flotación con el casco en popa.

$$L_{pp} = 81,46 \text{ m}$$

### 2.1.8. Eslora de la línea de carga, $L_L$

La eslora de la línea de carga,  $L_L$ , se debe tomar como el 96 % de la eslora total en una línea de agua al 85 % del puntal mínimo de trazado medido desde el canto superior de la quilla.

$$L_L = 96\% \cdot 81,45 \text{ m} = 78,19 \text{ m}$$

### 2.1.9. Máxima velocidad de servicio, $V$

Máxima velocidad de servicio,  $V$ , en nudos a la cual el buque está diseñado para mantener, en la línea de carga de verano a las RPM máximas y el MCR correspondiente.

$$V = 17 \text{ nudos}$$

## 2.2. Disposición estructural

Con el objetivo de hacer los cálculos correspondientes al escantillonado del buque proyecto, se ha dividido al buque de forma que se distingue, en primer lugar, entre las zonas que están condicionadas por la funcionalidad del buque y, en segundo lugar, entre las zonas que están condicionadas por la normativa de la Parte 3 de Lloyd's Register. Se considera, por ello, separadamente el casco y la superestructura, debido a que ésta última no contribuye a la resistencia longitudinal del buque por estar situada a proa y en una extensión relativamente pequeña.

A efectos de estudio de escantillonado se ha dividido al buque proyecto en tres regiones como se indica en Lloyd's Register, Fig. 3.2.1.

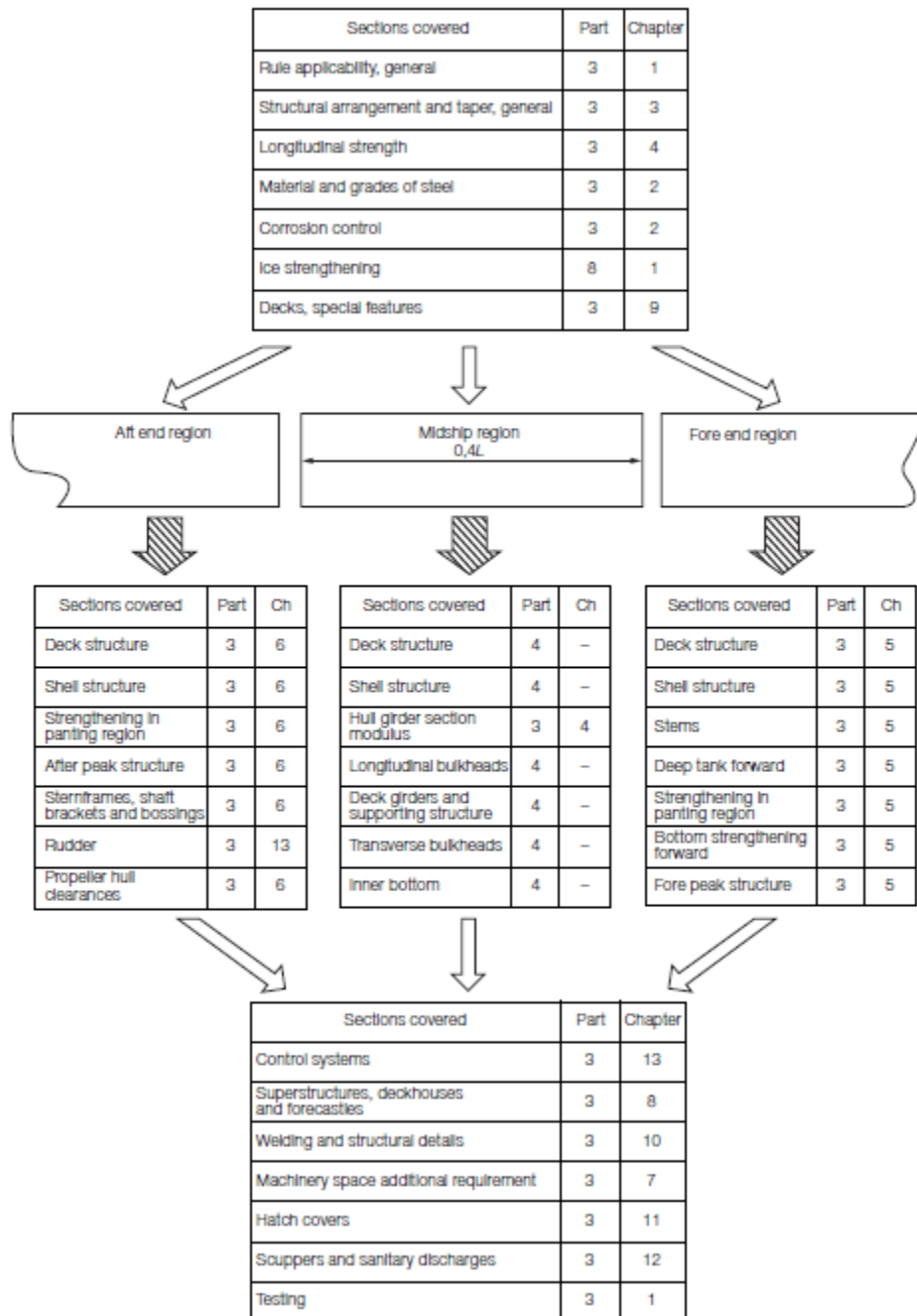


Figura 1. Escantillonados reglamentarios – Diseño esquemático de requisitos

Para la idealización de la estructura, Lloyd's Register (Part 3, Ch. 3, Sc. 3) indica que las fórmulas en las reglas se basan, normalmente, en la teoría elástica o plástica, utilizando modelos de vigas simples apoyadas en uno o más puntos y con diferentes modos de fijación en los extremos, asociado con una carga apropiada concentrada o distribuida.

Como se indica en Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 2, los cálculos de resistencia longitudinal se deben llevar a cabo para todos los buques en los que la eslora sea mayor de 65 metros, cubriendo la gama propuesta de condiciones de carga y lastre, con el fin de determinar la resistencia requerida del buque-viga. Los cálculos de fuerzas cortantes y momentos flectores son para cubrir, tanto las condiciones de salida como de llegada, y cualquier condición especial a mitad de la travesía causada por cambios en la distribución de lastre.

Se ha decidido disponer en el buque proyecto de una estructura mixta, de forma que la zona central de  $0,4L$  de eslora, como mínimo, tenga estructura longitudinal y las zonas de los extremos, popa y proa, tengan una estructura transversal. Se aprovechan de este modo las ventajas de cada disposición estructural en dichas zonas.

Los buques tienen, desde el punto de vista estructural, elementos comunes que son elementos básicos y que contienen los diferentes tipos de estructuras (longitudinal, transversal o mixta): planchas de casco y cubierta, fondos y dobles fondos, mamparos longitudinales y transversales, quillas, vagras laterales, cuadernas reforzadas y puntales.

Las características de las estructuras transversal, longitudinal y mixta son las siguientes:

- Estructura Transversal.

Esta estructura está formada por los elementos básicos y por: cuadernas, que rigidizan el casco y los elementos verticales del fondo; varengas, que rigidizan el fondo y el doble fondo; y baos que rigidizan la cubierta.

En este tipo de estructura las varengas son continuas, no así los longitudinales que son intercostales y aparecen a trozos entre las cuadernas.

Como ventaja más destacada, con respecto al sistema longitudinal, se puede destacar que la estructura transversal soporta mejor la presión lateral del agua y presenta una mayor resistencia al cizallamiento.

Los inconvenientes de estas estructuras son la dificultad en las uniones, que dejan vanos no reforzados, perdiendo rigidez entre las cuadernas. También son menos resistentes a los esfuerzos locales, como pueden ser los generados por los equipos de propulsión, tienen peor comportamiento a flexión, peor resistencia a esfuerzos dinámicos y el espacio de carga es menor.

- Estructura Longitudinal.

Formada por los elementos básicos y por: esloras, son longitudinales de cubierta que rigidizan esta parte; longitudinales, que rigidizan los forros; y vagras, que rigidizan el fondo y el doble fondo.

Los buques con estructura longitudinal presentan las siguientes ventajas respecto a los contruidos según el sistema transversal:

- Ahorro de peso, especialmente en buques de mucha eslora.
- Las estructuras longitudinales se prestan a la utilización de elementos prefabricados, muy mecanizados que optimizan la construcción en cuanto a la facilidad de montaje y menor duración del mismo.
- Volumen de bodega mucho más limpio, sin salientes.
- Resiste mejor los esfuerzos de flexión.

Como contrapartida se presentan los siguientes inconvenientes:

- Mantiene peor la forma del buque establecida en la fase de proyecto; tiene menor rigidez transversal.
  - Peor comportamiento ante el cizallamiento.
  - Estas estructuras no ayudan, por sí solas, a conseguir la compartimentación total, necesitando incluir mamparos longitudinales o transversales.
  - Utiliza en la construcción mayor número de elementos.
- Estructura Mixta.

Está formada por los elementos básicos y por: esloras, que aparecen en sistemas con baos dando rigidez a estos; palmejares, son refuerzos locales del casco en el sentido longitudinal, soportando las cuadernas, resistiendo los impactos del mar sobre las planchas del forro; y vagras intercostales, elementos longitudinales del mar sobre las planchas del casco.

Este tipo de estructuras es muy flexible dependiendo de las características del barco. Por ejemplo: longitudinales en el casco y transversales en el doble fondo.

### 2.3. Materiales de construcción

Los materiales utilizados en la construcción del buque deben ser fabricados y probados de acuerdo con los requisitos de las normas (Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials). En la Reglamentación de Lloyd's Register, Parte 3, Ch.2, se indican los requisitos que deben tener los materiales a emplear en la construcción del buque proyecto.

Un acero que tenga un límite elástico mínimo de  $235 \text{ N/mm}^2$  ( $24 \text{ kgf/mm}^2$ ) es considerado como acero dulce. Un acero con un límite elástico mínimo más alto es considerado como un acero de alta resistencia a la tracción.

El grado de acero a utilizar está, en general, relacionado con el espesor del material y con el patrón de estrés asociado con su ubicación. Con el fin de distinguir entre los requerimientos de grado de material para las diferentes partes del casco, se asignan las clases de materiales como se da en la siguiente tabla (Lloyd's Register Table 2.2.1.).

Cuaderno 10. Resistencia estructural

Structural member category	Material class/grade
SECONDARY	
A1. Longitudinal bulkhead strakes, other than belonging to the Primary category A2. Deck plating exposed to weather, other than that belonging to the Primary or Special category A3. Side plating	Class I within 0,4L amidships Grade A/AH outside 0,4L amidships
PRIMARY	
B1. Bottom plating, including keel plate B2. Strength deck plating, excluding that belonging to the Special category B3. Continuous longitudinal members above strength deck, excluding hatch coamings B4. Uppermost strake in longitudinal bulkhead B5. Vertical strake (hatch side girder) and uppermost sloped stake in top wing tank	Class II within 0,4L amidships Grade A/AH outside 0,4L amidships
SPECIAL	
C1. Sheer strake (or rounded gunwale) and stringer plate at strength deck, see Note 1 C2. Deck strake at longitudinal bulkhead excluding deck plating in way of inner skin bulkhead of double hull ships, see Note 1	Class III within 0,4L amidships Class II outside 0,4L amidships Class I outside 0,6L amidships
C3. Strength deck plating at outboard corners of cargo hatch openings (and plating intersections of the longitudinal underdeck girders and the cross-deck strips) in container carriers and other ships with similar hatch opening configurations	Class III within 0,4L amidships Class II outside 0,4L amidships Class I outside 0,6L amidships Minimum Class III within cargo region
C4. Strength deck plating at corners of cargo hatch openings in bulk carriers (see 1.1.3), ore carriers, combination carriers and other ships with similar hatch opening configurations	Class III within 0,6L amidships Class II within rest of cargo region
C5. Bilge strake in ships with double bottom over the full breadth and length less than 150 m, see Note 1	Class II within 0,6L amidships Class I outside 0,6L amidships
C6. Bilge strake in other ships, see Note 1	Class III within 0,4L amidships Class II outside 0,4L amidships Class I outside 0,6L amidships
C7. Longitudinal hatch coamings of length greater than 0,15L	Class III within 0,4L amidships Class II outside 0,4L amidships
C8. End brackets and deck house transition of longitudinal cargo hatch coamings	Class I outside 0,6L amidships Not to be less than Grade D/DH
SHIPS WITH LENGTH EXCEEDING 150 m AND SINGLE STRENGTH DECK	
D1. Longitudinal strength members of strength deck plating	Grade B/AH within 0,4L amidships
D2. Continuous longitudinal strength members above strength deck	Grade B/AH within 0,4L amidships
D3. Single side strakes for ships without inner continuous longitudinal bulkhead(s) between bottom and strength deck	Grade B/AH within cargo region
SHIPS WITH LENGTH EXCEEDING 250 m	
E1. Sheer strake (or rounded gunwale) and stringer plate at strength deck, see Note 2	Grade E/EH within 0,4L amidships
E2. Bilge strake, see Note 2	Grade D/DH within 0,6L amidships
SINGLE SKIN BULK CARRIERS SUBJECTED TO SOLAS REGULATION XII/6.5	
F1. Lower bracket of ordinary side frame, see Notes 6 and 7	Grade D/DH
F2. Side shell strakes included totally or partially between the two points located to 0,125L above and below the intersection of side shell and bilge hopper sloping plate or inner bottom plate, see Note 7	Grade D/DH

NOTES

- Single strakes required to be of Class III and within 0,4L amidships are to have breadths not less than  $800 + 5L$  mm, but need not be greater than 1800 mm, unless limited by the geometry of the ship's design.
- Single strakes required to be of Grade E/EH and within 0,4L amidships are to have breadths not less than  $800 + 5L$  mm, but need not be greater than 1800 mm, unless limited by the geometry of the ship's design.
- For strength members not mentioned, Grade A/AH may be generally used.
- Steel grade is to correspond to the as-fitted thickness.
- Plating materials for sternframes, rudders, rudder horns and shaft brackets are, in general, not to be of lower grades than corresponding to Class II. For rudder and rudder body plates subjected to stress concentrations (e.g. in way of lower support of semi-spade rudders or at upper part of spade rudders) Class III is to be applied.
- The term 'lower bracket' means webs of lower brackets and webs of the lower part of side frames up to the point of 0,125L above the intersection of side shell and bilge hopper sloping plate or inner bottom plate.
- The span of the side frame,  $l$ , is defined as the distance between the supporting structures.
- Corner inserts in way of complex openings such as for lifts and side doors which may impinge on the deck plating or stringer plate are to be of Grade D/DH for  $t \leq 20$  mm and Grade E/EH for  $t > 20$  mm.
- The material class used for reinforcement and the quality of material (i.e. whether mild or higher tensile steel) used for welded attachments, such as waterway bars and bilge keels, is to be similar to that of the hull envelope plating in way. Where attachments are made to rounded gunwale plates, special consideration will be given to the required grade of steel, taking account of the intended structural arrangements and attachment details.
- The material class for deck plating, sheer strake and upper strake of longitudinal bulkhead within 0,4L amidships is also to be applied at structural breaks of the superstructure, irrespective of position.
- Engine seat top plates outside 0,6L amidships may be Grade A/AH. Steel grade requirement for top plates within 0,6L amidships will be specially considered.

Tabla 1. Clases y grado del acero

Los grados de acero no deben ser menores que los correspondientes a las clases de materiales, como se da en la tabla siguiente (Lloyd's Register Table 2.2.2.)

Thickness, $t$ , in mm	Material class					
	I		II		III	
	Mild steel	H.T. steel	Mild steel	H.T. steel	Mild steel	H.T. steel
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 < t \leq 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 < t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$t > 40$	D	DH	E	EH	E	EH
NOTE See Notes under Table 2.2.1						

Tabla 2. Grados del acero

El acero que se elige para la construcción del buque proyecto es **acero naval de grado A, con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup> y módulo de Young 206000 N/mm<sup>2</sup>**. Se deberá comprobar que las tensiones producidas por la condición de carga más crítica no alcanzan el límite elástico del acero con el correspondiente factor de seguridad. En caso de no cumplir esta condición debería emplearse algún grado de acero de alta resistencia. En general, los buques que cumplan con los requerimientos indicados en Lloyd's Register, Part 4, Ch.1, se clasificarán como 100A1.

### **3. Resistencia longitudinal: momentos flectores, módulo resistente en la sección maestra, momento de inercia mínimo y esfuerzos cortantes**

Existe un límite máximo para el momento flector que la estructura ha de ser capaz de soportar. Se establece por la normativa, al igual que unos límites mínimos para el momento de inercia y el módulo resistente de la cuaderna maestra. Para el cálculo de los momentos flectores se tendrán en cuenta tres situaciones (Aguas tranquilas, Arrufo y Quebranto).

En este apartado se siguen los requerimientos de resistencia a flexión del casco que indica Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4.

#### **3.1. Momentos flectores**

##### **3.1.1. Momento flector en ola**

Para calcular el momento flector en ola de diseño se considerarán dos situaciones en ola: la situación de arrufo (momentos de signo negativo) y la situación de quebranto (momentos positivos).

El momento flector en ola ( $M_w$ ) se calcula mediante la ecuación indicada en el reglamento de Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc.4.

$$M_w = f_1 \cdot f_2 \cdot M_{w0}$$

- $f_1$ : factor de servicio del buque. Debe estar entre 0,5 y 1. Para el servicio de alta mar sin restricciones  $f_1 = 1$ .
- $f_2$ : factor del momento flector en olas.
  - Toma el valor de -1,1 para el momento en arrufo.
  - $f_2 = \frac{1,9 \cdot C_b}{C_b + 0,7} = 0,877$  para la condición del momento en quebranto.
- $M_{w0} = 0,1 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0,7)$  kN m
  - $C_1 = 0,0412 \cdot L + 4,0$  para L menor de 90.
  - $C_2 = 1 \forall L \in (0,4L; 0,65L)$  desde la perpendicular de popa.

$C_2 = 0$  en las perpendiculares de popa y proa. Se ha considerado una variación lineal.  
Los valores intermedios se determinan por interpolación lineal.

Sustituyendo se obtiene la distribución de momentos flectores en ola para las condiciones de arrufo y quebranto. Se representa considerando una variación lineal desde la perpendicular de popa y proa, donde el momento flector vale cero, hasta el tramo del buque comprendido entre  $0,4L$  y  $0,65L$ , donde se considera de valor constante e igual al calculado previamente.

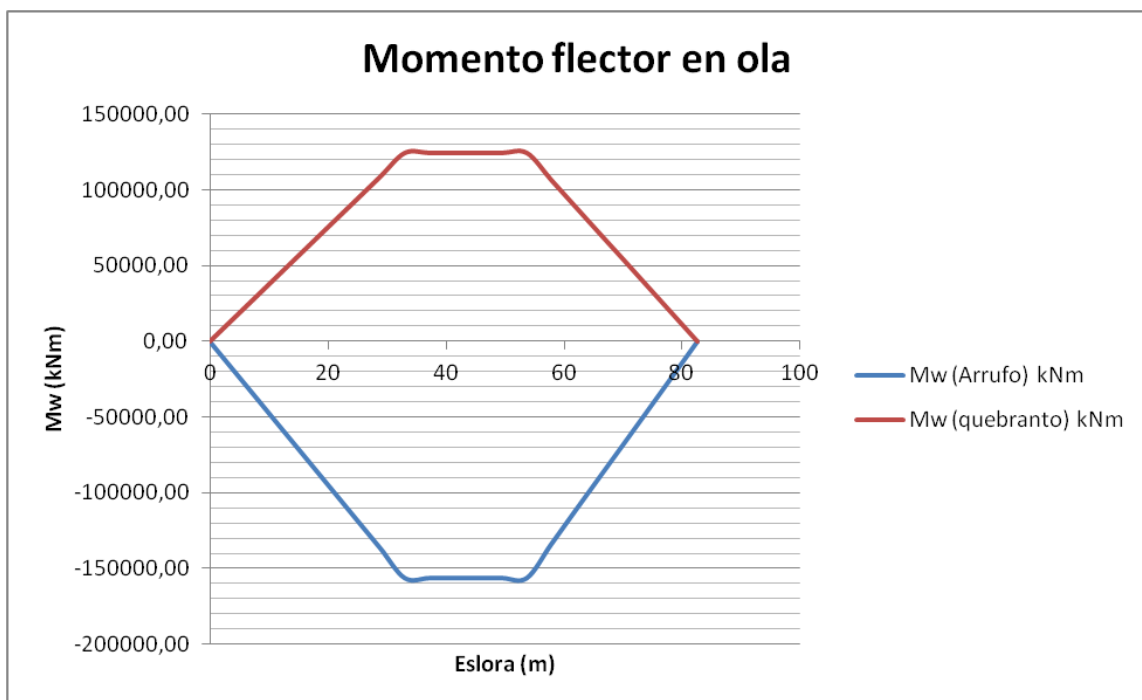


Gráfico 1. Momento flector en ola

Se observa que el momento máximo en arrufo es 156270,4 kNm y en quebranto 124579,2 kNm.

### 3.1.2. Momento flector en aguas tranquilas

El momento flector en aguas tranquilas, como se indica en Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4. Sc. 5 se debe calcular a lo largo de la eslora del buque y debe tomarse como:

$$|\overline{M}_s| = F_D \cdot \sigma \cdot Z_D \cdot 10^3 - |M_w| \text{ kNm}$$

La tensión a flexión admisible,  $\sigma$ , se calcula en el apartado 3.3. y  $F_D$  se indica en la sección 5.7.2 del mismo capítulo de Lloyd's.  $M_w$  es el momento flector en ola, como se calculó antes.

No obstante, el momento flector en aguas tranquilas será el momento flector máximo que soporta el buque dentro de todas las situaciones de carga consideradas. Como es lógico, al no tener la estructura definida no se dispone todavía de la distribución del peso en rosca y por tanto no es posible obtener el momento en aguas tranquilas con exactitud. Por lo tanto, este momento se estima en una primera iteración, tomando la condición de lastre como la que sufre el mayor momento flector y el peso en rosca el estimado en el cuaderno 2. Después de hacer el análisis de resistencia longitudinal en Hydromax, se ha obtenido un momento flector máximo en aguas tranquilas igual a 66271.4 kN/m. La representación gráfica de los resultados obtenidos se presenta a continuación:

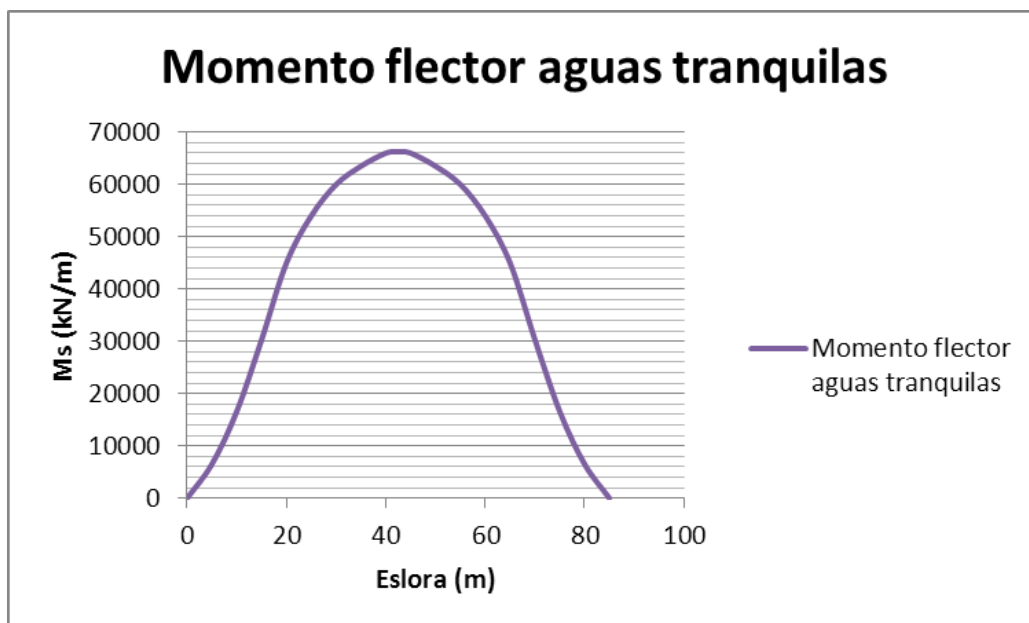


Gráfico 2. Distribución del momento flector en aguas tranquilas para la condición de plena carga



### 3.2. Módulo resistente de la cuaderna maestra

#### 3.2.1. Módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra

El módulo resistente mínimo de la sección maestra exigido por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.4, se calcula mediante la expresión:

$$Z_{min} = f_1 \cdot k_L \cdot C_1 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-6} m^3$$

- $f_1$ : Para el servicio de alta mar sin restricciones  $f_1 = 1$ .
- $k_L$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k_L = 1$ .
- $C_1 = 0,0412 \cdot L + 4,0$  para L menor de 90.
- L: eslora de escantillonado (82,50 m).
- B: manga del buque (21,70 m).
- $C_b$ : coeficiente de bloque (0,60).

$$\begin{aligned} Z_{min} &= 1 \cdot 1 \cdot (0,0412 \cdot 82,50m + 4,0) \cdot 82,50^2 \cdot 21,70 \cdot (0,6 + 0,7) \cdot 10^{-6} m^3 \\ &= 1,421 m^3 \end{aligned}$$

Este módulo será el mínimo que deberá tener la cuaderna maestra, a fin de que la estructura sea capaz de aguantar (sin excederse la tensión admisible) el momento máximo al que será sometido el buque. En el caso en que el módulo resistente necesario para hacer frente a las condiciones de carga (módulo de diseño) sea mayor que este módulo mínimo, será el valor de dicho módulo de diseño el que sea el mínimo a considerar.

#### 3.2.2. Módulo resistente de diseño de la cuaderna maestra

El módulo resistente mínimo de diseño de la sección maestra se obtiene a partir de la superposición del momento máximo en aguas tranquilas y olas y la tensión máxima admisible en la sección media a partir de la expresión:

$$Z = \frac{|M_s + M_w|}{\sigma} \cdot 10^{-3} = \frac{|66271,4 \text{ kNm} + 156270,4 \text{ kNm}|}{175 \frac{N}{mm^2}} \cdot 10^{-3} = 1,272 m^3$$

### 3.3. Tensión a flexión admisible

La máxima tensión admisible combinada (momento flector en aguas tranquilas y en ola) se obtiene a partir de las siguientes expresiones indicadas por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.6:

- Entre L=24,75 m y L=57,75 m:

$$\sigma = \frac{175}{k_L} = 175 \text{ N/mm}^2$$

- Para el resto del buque:

$$\sigma = \left( 75 + 543 \cdot \frac{d}{L} - 699 \left( \frac{d}{L} \right)^2 \right) \cdot \frac{1}{k_L}$$

Siendo d la distancia desde:

- El punto en cuestión y la perpendicular de popa, si dicho punto se encuentra comprendido entre L=0m y L=24,75m.
- El punto en cuestión y la perpendicular de proa si dicho punto se encuentra comprendido entre L=57,75m y L=85m.

Operando resulta la siguiente distribución de tensiones máximas admisibles a lo largo de la eslora:

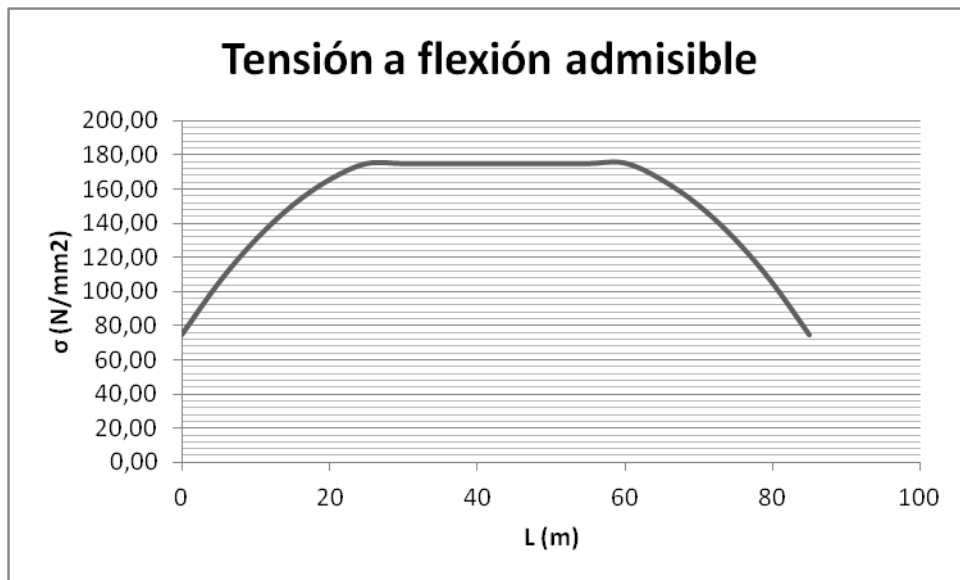


Gráfico 3. Distribución de tensiones máximas admisibles a lo largo de la eslora

### 3.4. Factores de reducción local

Las máximas tensiones verticales en cubierta,  $\sigma_D$ , y en la quilla,  $\sigma_B$ , son dadas por las siguientes expresiones indicadas por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.7:

$$\sigma_D = \frac{|\overline{M_s} + M_w|}{Z_D} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_B = \frac{|\overline{M_s} + M_w|}{Z_B} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

Cuando las fuerzas de flexión máximas permitidas en la cubierta o en la quilla son menores que la tensión combinada permisible,  $\sigma$ , se pueden permitir reducciones de

escantillonado local dentro de la zona central del buque de eslora  $0,4L$ . Los factores de reducción aplicables que intervienen en la expresión del máximo momento flector permitido se definen como sigue:

$$F_D = \frac{\sigma_D}{\sigma} \quad F_B = \frac{\sigma_B}{\sigma}$$

En general, los valores de  $\sigma_D$  y  $\sigma_B$  que se emplean son los mayores de las tensiones de flexión y  $F_D$  y  $F_B$  no deben tomarse menores de 0,67 para planchas y de 0,75 para refuerzos.

De modo que el máximo momento flector permitido en aguas tranquilas podrá escribirse como el mayor de los valores:

$$|\overline{M}_s| = F_D \cdot \sigma \cdot Z_D \cdot 10^3 - |\overline{M}_w|$$

$$|\overline{M}_s| = F_B \cdot \sigma \cdot Z_B \cdot 10^3 - |\overline{M}_w|$$

Según el reglamento de la Sociedad de Clasificación, en el caso de que, una vez escantillonada la cuaderna maestra, las tensiones en cubierta y fondo sean menores que la tensión mínima, se podrán utilizar estos factores de reducción para el cálculo del momento flector máximo permitido en aguas tranquilas y el dimensionamiento de refuerzos y planchas de la cuaderna maestra. Para comenzar la iteración se ha considerado que  $F_D = \frac{\sigma_D}{\sigma} = F_B = \frac{\sigma_B}{\sigma} = 1$ , que es un enfoque conservador.

### 3.5. Momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra

El momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra respecto al eje neutro transversal no debe ser inferior al calculado mediante la siguiente expresión (indicadas por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.8), utilizando el máximo momento total a flexión en arrufo o quebranto.

$$\begin{aligned} I_{\min} &= \frac{3 \cdot L \cdot |\overline{M}_s + M_w|}{k_L \cdot \sigma} \\ &\cdot 10^{-5} = \frac{3 \cdot 82,50m \cdot |66271,4kNm + 156270,4kNm|}{1 \cdot 175 \frac{N}{mm^2}} \cdot 10^{-5} \\ &= 1,049 m^4 \end{aligned}$$

### 3.6. Esfuerzos cortantes

Según indica el reglamento de Lloyd's Register, Part3, Ch. 4, Sc. 6, para los buques con eslora superior a 65 m, los esfuerzos cortantes sobre la estructura del casco deben ser investigados.

### 3.6.1. Esfuerzo cortante en olas

El valor del esfuerzo cortante en olas de diseño,  $Q_w$ , en cualquier posición a lo largo del buque viene dado por:

$$Q_w = K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{w0}$$

- $K_1$ : coeficiente que varía según la distribución representada en la siguiente gráfica:

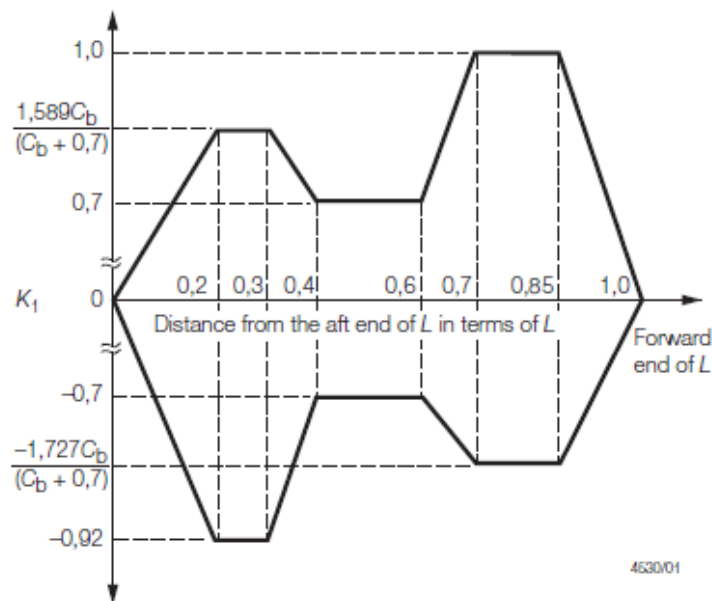


Gráfico 4. Factor  $K_1$  de esfuerzo cortante

- $K_2$ : Para el servicio de alta mar sin restricciones  $K_2 = 1$ .
- $Q_{w0} = 0,3 \cdot C_1 \cdot L \cdot B \cdot (C_b + 0,7) = 0,3 \cdot 7,4 \cdot 82,50 \cdot 21,70 \cdot (0,6 + 0,7) = 5166,7kN$

La distribución obtenida es la siguiente:

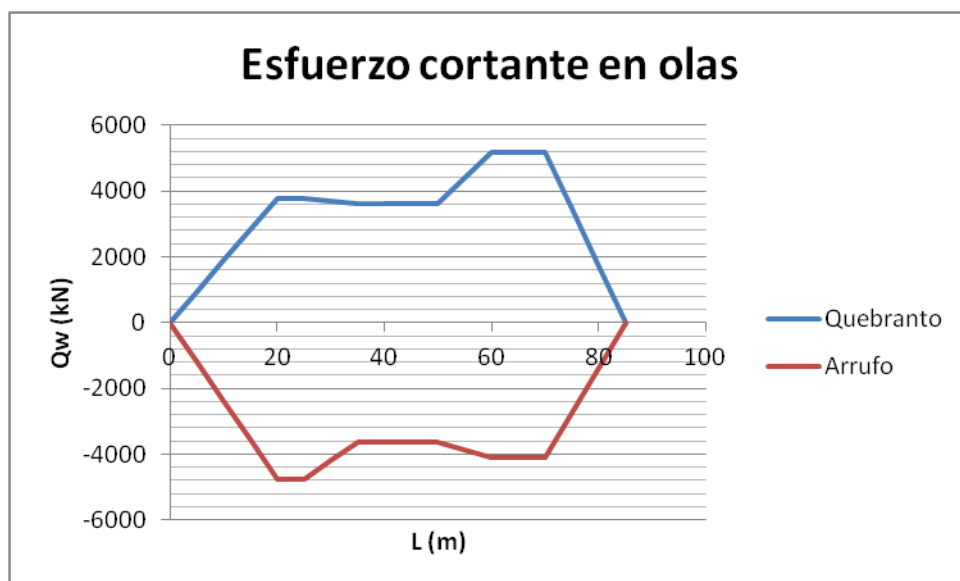


Gráfico 5. Esfuerzo cortante en olas

### 3.6.2. Esfuerzo cortante en aguas tranquilas

El esfuerzo cortante en aguas tranquilas,  $Q_s$ , en cada sección transversal a lo largo del casco debe tomarse como el valor máximo positivo y negativo que soporta el buque en la condición de carga más perjudicial. Para estimar el esfuerzo cortante máximo en aguas tranquilas se ha seguido el mismo procedimiento que con el momento flector en aguas tranquilas. Se obtiene un cortante máximo en aguas tranquilas para la condición de lastre igual a 4730 kN.

### 3.6.3. Tensión cortante máxima admisible

La tensión cortante máxima admisible debe tomarse, como indica Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 6.6, de este modo:

$$\tau = \frac{110}{k_L} = 110 N/mm^2$$

## **4. Cálculo de la Cuaderna Maestra**

Los objetivos buscados a la hora de diseñar la estructura del buque proyecto se han orientado tratando de lograr: una estructura lo más ligera posible, pero siempre cumpliendo con la reglamentación; una distancia entre refuerzos que facilite la construcción de la estructura; y poder permitir al buque proyecto cumplir los objetivos para los que fue concebido.

En el apartado 2.1.2. se indicó que la posición de la cuaderna maestra  $X_F$  era 40,95 m, puesto que debía tomarse como la sección media de la eslora de escantillonado, y su posición medida desde la perpendicular de popa. Empleando el plano de Disposición General del cuaderno 4, se decide situar finalmente la cuaderna maestra del buque proyecto en la cuaderna 63, es decir, a 40,95 m de la perpendicular de popa. En esta zona del buque la estructura es longitudinal en costados, fondo y cubierta.

Como se indicó en el apartado 2.2., se dispondrá de una estructura mixta longitudinal/transversal: transversal en proa y popa y longitudinal en la zona central.

### 4.1. Espaciado de refuerzos

En el cuaderno 4, *Disposición General*, se describió la disposición del doble fondo, mamparos divisorios, bulárcamas y varengas en cada zona del buque proyecto, cumpliéndose con las reglamentaciones de Lloyd's Register y el Convenio SOLAS. A continuación se presenta la disposición de estos elementos a modo de resumen.

- Altura del doble fondo: 1500 mm.
- Elementos estructurales transversales:
  - Clara entre cuadernas: 650 mm.
  - Clara entre baos: 650 mm.
  - Clara entre bulárcamas: 3250 mm (cada cuatro cuadernas).
  - Clara entre varengas: 3250 mm.
- Elementos estructurales longitudinales:
  - Clara entre longitudinales: 650 mm.
  - Clara entre vagras: 3900/3250 mm (cada cinco o seis longitudinales).
  - Posición de esloras, en crujía (ver cuaderna maestra).
- Mamparos divisorios:
  - Pique de proa: cuaderna 110; 71500 mm de popa.
  - Proa cámara de máquinas: cuaderna 102; 66300 mm de popa.
  - Popa cámara de máquinas: cuaderna 65; 42250 mm de popa.
  - Pique de popa: cuaderna 5; 3250 mm de popa.

Se considerarán refuerzos adicionales en las zonas donde lo exigen los reglamentos.

## 4.2. Escantillonado de los elementos estructurales

En este apartado se hará el escantillonado de las planchas, vagras, varengas, bulárcamas y refuerzos longitudinales. Para ello se seguirán las prescripciones establecidas por Lloyd's Register, Part 4, Ch. 4. Este capítulo de la Sociedad de Clasificación se aplica a los buques de navegación marítima especialmente diseñados y construidos para el transporte de cargas y pertrechos especializados para las unidades móviles de alta mar y otras plataformas offshore. El escantillonado debe hacerse de acuerdo a lo indicado en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, y cuando se instale equipo de remolque, como es el caso del buque proyecto, deben ser aplicados los requisitos de Ch. 3.7.

### 4.2.1. Escantillonado de las planchas del casco

#### a) Quilla

El ancho y el espesor de la plancha de quilla deben cumplir con los requisitos de la Tabla 1.5.1 de Lloyd's Register.

La manga mínima de la plancha de quilla debe ser  $b_{quilla} = 70 \cdot B$  (mm), pero sin ser mayor de 1800 mm ni menor de 700 mm. Por lo tanto:  **$b_{quilla} = 1550\text{mm}$** .

El espesor mínimo requerido viene dado por la expresión  $t_{quilla} = t_1 + 2$ , siendo  $t_1$  el espesor de la plancha adyacente del fondo (calculada posteriormente). Por lo tanto:  $t_{quilla} = 15 \text{ mm}$ .

**b) Planchas del fondo**

El espesor de las planchas del fondo no debe ser menor que los valores mínimos indicados en la Tabla 1.5.2. de Lloyd's Register. Se distinguen las zonas con estructura longitudinal (zona central) y transversal (cuerpo de popa y cuerpo de proa):

- *Estructura longitudinal*

El mayor de los valores:

$$(a) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,043 \cdot L_1 + 10) \sqrt{\frac{F_B}{k_L}}$$

$$(b) \quad t = 0,0052 \cdot s_1 \sqrt{\frac{h_{T2} \cdot k}{1,8 - F_B}}$$

- $s_1 = s = 650 \text{ mm}$ : espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6} \text{ mm}$  o  $700 \text{ mm}$ .
- $L_1 = L = 82,50 \text{ m}$ . No debe ser mayor que  $190 \text{ m}$ .
- $F_B$ : factor de reducción local del escantillonado para elementos por encima del eje neutro (para planchas no menos de  $0,67$ ).
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k_L=1$ .
- $h_{T2} = (T + 0,5 \cdot C_w)$ , en metros, pero no debe tomarse mayor de  $1,2T \text{ m}$ .
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$

- *Estructura transversal*

El mayor de los valores:

$$(a) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot f_1 \cdot (0,056 \cdot L_1 + 16,7) \sqrt{\frac{F_B}{k_L}}$$

$$(b) \quad t = 0,0063 \cdot s_1 \sqrt{\frac{h_{T2} \cdot k}{1,8 - F_B}}$$

- $s_1 = s = 650$  mm: espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6}$  mm o 700 mm.
- $f_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{1000 \cdot S}\right)^2}$
- $L_1 = L = 82,50$  m. No debe ser mayor que 190 m.
- $F_B$ : factor de reducción local del escantillonado para elementos por encima del eje neutro.
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k_L=1$ .
- $h_{T2} = (T + 0,5 \cdot C_w)$ , en metros, pero no debe tomarse mayor de 1,2T m.
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$

Sustituyendo y tomando los valores mayores, se tiene en cada caso:

- Cuerpo central con estructura longitudinal:  **$t_{fondo} = 7,2$  mm**
- Cuerpos de popa y proa con estructura transversal:  **$t_{fondo} = 12,0$  mm**

### c) Planchas de costado

El espesor de las planchas del costado no debe ser menor que los valores mínimos indicados en la Tabla 1.5.3. de Lloyd's Register. Se distinguen, al igual que antes, las zonas con estructura longitudinal (zona central) y transversal (cuerpo de popa y cuerpo de proa):

- *Estructura longitudinal*

El espesor de la chapas debe tomarse como el mayor de los valores:

- Para la zona del costado que está por encima de D/2:

$$(i) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_D}{k_L}}$$

$$(ii) \quad t = 0,0042 \cdot s_1 \sqrt{h_{T1} \cdot k}$$

- Para la zona del costado que queda por debajo de D/2:



$$(i) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_B}{k_L}}$$

$$(ii) \text{ interpolación entre: } \begin{cases} t = 0,0042 \cdot s_1 \sqrt{h_{T1} \cdot k} \\ t = 0,0054 \cdot s_1 \sqrt{\frac{h_{T2} \cdot k}{2 - F_B}} \end{cases}$$

- Para la plancha del pantoque:

$$(i) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_B}{k_L}}$$

$$(ii) \quad t = 0,0054 \cdot s_1 \sqrt{\frac{h_{T2} \cdot k}{2 - F_B}}$$

- $s_1 = s = 650 \text{ mm}$ : espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6} \text{ mm}$  o  $700 \text{ mm}$ .
- $L_1 = L = 82,50 \text{ m}$ . No debe ser mayor que  $190 \text{ m}$ .
- $F_B$ : factor de reducción local del escantillonado para elementos por debajo del eje neutro.
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k_L=1$ .
- $h_{T1} = T + C_w$  en metros, pero no debe tomarse mayor de  $1,36T$ .
- $h_{T2} = (T + 0,5 \cdot C_w)$ , en metros, pero no debe tomarse mayor de  $1,2T \text{ m}$ .
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$

- *Estructura transversal*

El espesor de la chapas debe tomarse como el mayor de los valores:

- Para la zona del costado que está por encima de  $D/4$ :

$$(i) \quad t = 0,00085 \cdot s_1 \cdot f_1 \cdot (0,083 \cdot L_1 + 10) \sqrt{\frac{F_D}{k_L}}$$

$$(ii) \quad t = 0,0042 \cdot s_1 \sqrt{h_{T1} \cdot k}$$

- Para la zona del costado que queda por debajo de  $D/4$ :

$$(i) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_M}{k_L}}$$

$$(ii) \quad t = 0,0056 \cdot s_1 \cdot \sqrt{h_{T1} \cdot k}$$

○ Para la plancha del pantoque:

$$(i) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_M}{k_L}}$$

$$(ii) \quad t = 0,0051 \cdot s_1 \sqrt{h_{T1} \cdot k}$$

- $s_1 = s = 650 \text{ mm}$ : espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6} \text{ mm}$  o  $700 \text{ mm}$ .
- $f_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{1000 \cdot s}\right)^2}$
- $L_1 = L = 82,50 \text{ m}$ . No debe ser mayor que  $190 \text{ m}$ .
- $F_M$ : el mayor de  $F_B$  o  $F_D$ .
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k_L=1$ .
- $h_{T1} = T + C_w$  en metros, pero no debe tomarse mayor de  $1,36T$ .
- $h_{T2} = (T + 0,5 \cdot C_w)$ , en metros, pero no debe tomarse mayor de  $1,2T \text{ m}$ .
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$

Sustituyendo y tomando los valores mayores, se tiene en cada caso:

- Cuerpo central con estructura longitudinal:

$$t_{costado > D/2} = 7,7 \text{ mm}$$

$$t_{costado < D/2} = 8,0 \text{ mm}$$

$$t_{pantoque} = 8,5 \text{ mm}$$

- Cuerpos de popa y proa con estructura transversal:

$$t_{costado > D/4} = 7,7 \text{ mm}$$

$$t_{costado < D/4} = 10,0 \text{ mm}$$

$$t_{pantoque} = 9,3 \text{ mm}$$

No obstante, en la tabla 4.3.1, Part 4, Ch. 4, Sc. 2, se indican los valores mínimos de las planchas del casco para los buques de apoyo a plataformas. El valor mínimo para los buques con notación de clase AHTS, como es el caso del buque proyecto, es de 9 mm. Por lo tanto, se concluye que el escantillonado de las planchas de costado será el siguiente:

- Cuerpo central con estructura longitudinal:

$$t_{costado} = 9,0 \text{ mm}$$

- Cuerpos de popa y proa con estructura transversal:

$$t_{costado} = 10,0 \text{ mm}$$

#### d) Planchas de cubierta

Conforme a Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 4, Table 1.4.1. el espesor de las planchas de cubierta en la sección media será el mayor de las siguientes expresiones. Se distinguen, al igual que antes, las zonas con estructura longitudinal (zona central) y transversal (cuerpo de popa y cuerpo de proa):

- *Estructura longitudinal*

El espesor de la chapas debe tomarse como el mayor de los valores:

$$(a) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot (0,059 \cdot L_1 + 7) \sqrt{\frac{F_D}{k_L}}$$

$$(b) \quad t = 0,00083 \cdot s_1 \sqrt{Lk} + 2,5$$

- $s_1 = s = 650 \text{ mm}$ : espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6} \text{ mm}$  o 700 mm.
- $L_1 = L = 82,50 \text{ m}$ . No debe ser mayor que 190 m.
- $F_D$ : factor de reducción local del escantillonado para elementos por encima del eje neutro.
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k_L=1$ .

- *Estructura transversal*

El espesor de la chapas debe tomarse como el mayor de los valores:

$$(a) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot f_1 \cdot (0,083 \cdot L_1 + 10) \sqrt{\frac{F_D}{k_L}}$$

$$(b) \quad t = 0,001 \cdot s_1 \cdot \sqrt{Lk} + 2,5$$

- $s_1 = s = 650$  mm: espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6}$  mm o 700 mm.
- $f_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{1000 \cdot s}\right)^2}$
- $L_1 = L = 82,50$  m. No debe ser mayor que 190 m.
- $F_D$ : factor de reducción local del escantillonado para elementos por encima del eje neutro.
- $k_L = k$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k_L=1$ .

Sustituyendo y tomando los valores mayores, se tiene en cada caso:

- Cuerpo central con estructura longitudinal:  $t_{cubierta} = 7,4$  mm
- Cuerpos de popa y proa con estructura transversal:  $t_{cubierta} = 8,6$  mm

Ahora bien, al ser el buque proyecto un buque de apoyo a plataformas, debe cumplir también con las prescripciones indicadas en la Parte 4, Ch. 4, de Lloyd's Register. Cuando se van a situar cargas en la cubierta de intemperie, el escantillonado debe ser adecuado para estas cargas. El espesor,  $t_{cubierta}$ , de las planchas de cubierta no debe ser menor que el mayor de las siguientes expresiones:

$$(a) \quad t = 0,025 \cdot L + 4,5 + t_a$$

$$(b) \quad t = 0,1 \cdot f_m \cdot s \cdot \sqrt{\frac{P \cdot F_D}{f_y \cdot \sigma}} + t_a$$

- $t_a$ : en general, 2,5 mm.
- $f_m$ : 0,75.
- $s$ : espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- $P$ : carga de diseño especificada para la cubierta de intemperie, en tonnef/m<sup>2</sup> =  $\frac{h}{1,39}$ .

- $F_D = \frac{\sigma_D}{\sigma}$ . En general, los valores de  $\sigma_D$  que se emplean son los mayores de las tensiones de flexión y  $F_D$  no debe tomarse menor de 0,67 para planchas y de 0,75 para refuerzos.
- $f_y$ : 0,67.
- $\sigma$ : límite elástico de las planchas (235 N/mm<sup>2</sup>).

Por lo tanto, sustituyendo y calculando estas expresiones, se puede concluir que el espesor mínimo de las planchas de cubierta debe ser  **$t_{cubierta} = 10,8 \text{ mm}$** .

#### 4.2.2. Estructura de cubiertas internas

##### a) Doble fondo

Los requisitos que debe cumplir la estructura del doble fondo vienen especificados en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 8.

Como se indicó en el cuaderno 4, *Disposición General*, la mínima profundidad del doble fondo se tiene que tomar como la mayor de las siguientes:

- $d_{DB} = 28B + 205\sqrt{T} \text{ mm}$
- $d_{DB} = 50B \text{ mm}$ , but need not be taken as greater than 2000mm.
- $d_{DB} = 760 \text{ mm}$

$$d_{DB} = 1176,45 \text{ mm}$$

Es el valor mínimo que debe tener el doble fondo. Se eligió un valor para el doble fondo de 1500mm.

El espesor mínimo de las planchas del doble fondo, con un mínimo de 6,5 mm, no debe ser menor de:

$$t = 0,00136 \cdot (s + 660) \sqrt[4]{k^2 \cdot L \cdot T}$$

Por lo tanto,  **$t_{df} = 8,9 \text{ mm}$**

##### b) Cubierta de carga

El espesor mínimo de la cubierta de carga lo define Lloyd's Register en la tabla 1.4.2 de la siguiente forma, no siendo menor de 6,5 mm para  $L < 90 \text{ m}$ :

$$t = 0,004 \cdot s \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot k \cdot h_4}{1,025}} + K_1$$

- $s_1 = s = 650$  mm: espaciado de refuerzos longitudinales. Dicho espaciado no debe ser menor que  $470 + \frac{L}{0,6}$  mm o 700 mm.
- $f = 1,1 - \frac{s}{2500 \cdot s}$ , pero no debe tomarse mayor de 1,0.
- $\rho$ : densidad relativa del fluido de los tanques de carga, pero no debe tomarse menor de 1,025.
- $k$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k=1$ .
- $h_4$ : la mitad de la distancia existente entre la cubierta y la cubierta resistente más 0,91 m.
- $K_1$ : 3,5 mm

Por lo tanto, el espesor mínimo requerido es:  **$t_{cub} = 7,7$  mm**

#### 4.2.3. Escantillado de mamparos estructurales

Para el escantillado de los mamparos estructurales se siguen las prescripciones indicadas por Lloyd's Register en Part 4, Ch. 1, Sc. 9.

El espesor mínimo de las planchas de los mamparos estancos, como indica la tabla 1.9.1 de la normativa, no deberá ser menor de 5,5 mm y al menos:

$$t = 0,004 \cdot s \cdot f \cdot \sqrt{h_4 \cdot k}$$

- $s$ : espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- $f = 1,1 - \frac{s}{2500 \cdot s}$ , pero no debe tomarse mayor de 1,0.
- $h_4$ : para las planchas de los mamparos estancos, la distancia vertical desde un punto a un tercio de la altura de la plancha por encima de su borde inferior, a un punto 0,91 m por encima de la cubierta de cierre del mamparo, o perpendicular a la línea de flotación más profunda en la condición de avería, obtenida a partir de los cálculos de estabilidad con avería aplicables.
- la mitad de la distancia existente entre la cubierta y la cubierta resistente más 0,91 m.
- $k$ : para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>,  $k=1$ .

Por lo tanto, el espesor mínimo serán **7,7 mm**.

#### 4.2.4. Escantillonado de refuerzos primarios

Se describen en este subapartado los requerimientos de la Sociedad de Clasificación para los refuerzos primarios de la estructura del buque. Como ya se ha dicho antes, la estructura del buque proyecto es mixta, teniendo una estructura tipo longitudinal en la parte central del buque y de tipo transversal en los extremos de proa y popa. En la siguiente imagen se pueden observar las diferencias entre estas dos estructuras en el doble fondo del buque.

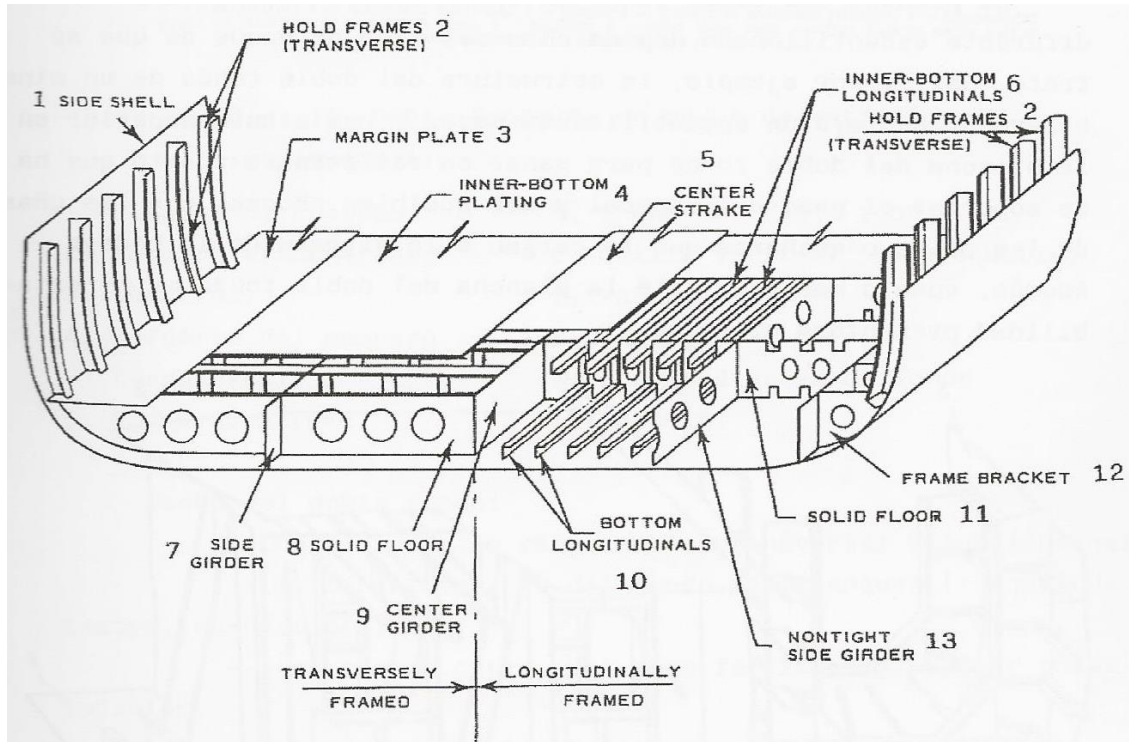


Figura 2. Construcción del doble fondo

El escantillonado de los elementos que se indican en esa imagen se hace a continuación, siguiendo para ello lo indicado en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1.

##### 4.2.4.1. Escantillonado de los refuerzos primarios longitudinales

###### a) Vagras del doble fondo

Los requisitos que debe cumplir la vagra de crujía del doble fondo vienen especificados en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 8.3. El espesor mínimo de esta vagra viene determinado que no sea menor de:

$$t = (0,008 \cdot d_{DB} + 4)\sqrt{k}$$

No debe ser tampoco menor de 6,0 mm, por lo tanto, el espesor mínimo será de 13,4 mm.

- *Estructura longitudinal (cuerpo central)*

Cuando la estructura es longitudinal, en los buques con una manga, B, superior a 21 m, se deben instalar dos vagras a cada banda. Estas vagras deben extenderse hacia proa y hacia popa tan lejos como sea posible y deben tener un espesor nunca menor de 6 mm y, además, no menor de:

$$t = (0,0075 \cdot d_{DB} + 1)\sqrt{k}$$

Por lo tanto, para el resto de vagras el espesor mínimo es de 9,8 mm.

- *Estructura transversal (cuerpos de popa y proa)*

En las zonas del buque con estructura transversal, la normativa de Lloyd's Register indica que, para los buques con estructura transversal con una manga, B, mayor de 20 m, deben instalarse, a cada banda de la línea de crujía, dos vagras. Éstas deben extenderse hacia proa y hacia popa tanto como sea posible y deben tener un espesor no menor de:

$$t = (0,008 \cdot d_{DB} + 1)\sqrt{k}$$

Nunca menos de 6,0 mm. Por lo tanto, el espesor mínimo requerido es 10,4 mm.

Por lo tanto, se elige un espesor mínimo para todas las vagras del doble fondo de **10,5 mm**, menos la vagra de crujía que deberá tener un espesor de **13,4 mm**.

## b) Esloras

El módulo de estos elementos estructurales se calcula a partir de la expresión indicada en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 4, Tabla 1.4.6.

$$Z = 4,75 \cdot k \cdot S \cdot H_g \cdot l_e^2$$

- S: espacio entre bulárcamas (3,25 m).
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- H<sub>g</sub>: altura de la cubierta de intemperie (9,4 m) o de la cubierta de carga (6,0 m) según la que sea aplicable.
- l<sub>e</sub>: longitud efectiva, en metros, de las esloras.

Sustituyendo se tiene que el módulo mínimo es, para las esloras de la cubierta de intemperie **Z = 1533 cm<sup>3</sup>**.



#### 4.2.4.2. Escantillonado de los refuerzos primarios transversales

##### a) Varengas del doble fondo

Los requisitos que deben cumplir las varengas del doble fondo vienen especificados en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 8.5. La clara entre varengas se hace coincidir con las bulárcamas, es decir, cada 3250 mm.

- *Estructura longitudinal (cuerpo central)*

El espesor de las varengas no debe ser menor de 6 mm y de:

$$t = (0,009 \cdot d_{DB} + 1)\sqrt{k}$$

Siendo  $d_{DB} = 28B + 205\sqrt{T}$  mm

Sustituyendo se tiene que el espesor mínimo debe ser de **11,6 mm**.

- *Estructura transversal (cuerpos de popa y proa)*

En las zonas con estructura transversal, el espesor de las varengas no debe exceder de 15 mm y no debe ser menor de 6 mm. Su escantillonado se define mediante la expresión:

$$t = (0,008 \cdot d_{DB} + 1)\sqrt{k}$$

Se concluye entonces, que el espesor mínimo debe ser de **10,4 mm**.

##### b) Bulárcamas del costado (o cuadernas reforzadas)

La normativa de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register indica en Part 4, Ch. 1, Sc. 6, tabla 1.6.3., el módulo mínimo que debe tener el conjunto bulárcama-plancha asociada, con el fin de soportar las cargas que incidirán sobre estos elementos de la estructura del buque proyecto.

- *Estructura longitudinal (cuerpo central)*

El módulo mínimo, en  $\text{cm}^3$ , se calcula mediante la expresión:

$$Z = 10 \cdot k \cdot S \cdot h_{T1} \cdot l_e^2$$

- k: para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k=1$ .
- S: espacio entre bulárcamas (3,25 m).
- $h_{T1} = C_w \left(1 - \frac{h_6}{D-T}\right) F_\lambda$
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$

- $h_6$ : distancia vertical, en metros, desde la línea de agua al calado T, a la mitad de la bulárcama.
- $F_\lambda$ : 1,0 para  $L \leq 200 \text{ m}$ .
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, de las bulárcamas, para estructuras con doble fondo.

Sustituyendo se tiene que  $Z = 6962 \text{ cm}^3$ .

Adicionalmente, en Lloyd's Register Part 4, Ch. 4, Sc. 4, se indica que este módulo debe aumentarse en un 25 %, luego  $Z = 8702,5 \text{ cm}^3$ .

- *Estructura transversal (cuerpos de popa y proa)*

El módulo mínimo, en  $\text{cm}^3$ , se calcula mediante la expresión:

$$Z = 7,75 \cdot k \cdot S \cdot h_{T1} \cdot l_e^2$$

- k: para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k=1$ .
- S: espacio entre bulárcamas (3,25 m).
- $h_{T1} = C_w \left(1 - \frac{h_6}{D-T}\right) F_\lambda$
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$
- $F_\lambda$ : 1,0 para  $L \leq 200 \text{ m}$ .
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, de bulárcamas para estructuras con doble fondo.

Sustituyendo se tiene que  $Z = 5395,6 \text{ cm}^3$ .

Igual que antes, este módulo debe aumentarse en un 25 %, por lo que el módulo es  $Z = 6744,5 \text{ cm}^3$ .

### c) Baos de cubierta

Los baos son elementos estructurales dispuestos en el plano transversal del casco y en sucesión ordenada sobre el eje longitudinal del barco. Se extienden de un costado a otro, uniendo las estructuras de una banda con las de la opuesta, y sirven de sostén de las cubiertas. Lloyd's Register distingue en la tabla 1.4.5 entre los baos de la cubierta de intemperie y los baos de las cubiertas de carga:

- *Cubierta de intemperie*: El módulo mínimo que han de tener los baos de la cubierta de intemperie deberá ser el menor de los siguientes:

$$(a) \quad Z = (K_1 \cdot K_2 \cdot T \cdot D + K_3 \cdot B_1 \cdot S \cdot h_1 \cdot l_e^2) \cdot k \cdot 10^{-4}$$

$$(b) \quad Z = 2 \cdot K_3 \cdot B_1 \cdot s \cdot k \cdot h_1 \cdot l_e^2 \cdot 10^{-4}$$

- $K_1$ : factor dependiente del número de cubiertas (9,3).
- $K_2$ : factor dependiente de la localización del bao (530).
- T: calado (7,70 m).
- D: puntal (9,40 m).
- $K_3$ : factor dependiente de la localización del bao (3,3).
- $B_1$ : B, pero no debe tomarse mayor que 21,5 m.
- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- $h_1$ : altura de la cubierta de intemperie (9,4 m).
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del bao, para estructuras con doble fondo.
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.

Por lo tanto, sustituyendo se tiene que  $Z = 828 \text{ cm}^3$ .

El módulo así calculado debe aumentarse un 25 %, como se indica en Lloyd's Register Part 4, Ch. 4, Sc. 4, luego  $Z = 1035 \text{ cm}^3$ .

- *Cubiertas de carga*: El módulo mínimo de los baos de las cubiertas de carga será:

$$Z = (400 \cdot K_1 \cdot T \cdot D + 38,8 \cdot s \cdot h_2 \cdot l_e^2) \cdot k \cdot 10^{-4}$$

- $K_1$ : factor dependiente del número de cubiertas (9,3).
- T: calado (7,70 m).
- D: puntal (9,40 m).
- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- $h_2$ : altura de la cubierta de carga (6,0 m).
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del bao, para estructuras con doble fondo.
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.

Por lo tanto, sustituyendo se tiene que  $Z = 1407 \text{ cm}^3$ .

El módulo con el 25 % más es,  $Z = 1758,8 \text{ cm}^3$ .

#### 4.2.5. Escantillonado de refuerzos secundarios

Se indican ahora los refuerzos secundarios, los cuales contribuyen a la resistencia longitudinal del buque. Todos los cálculos se han hecho siguiendo lo indicado en Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1.

**a) Refuerzos longitudinales del doble fondo**

Los longitudinales interiores del fondo han de tener un módulo no menor del 85 por ciento del valor que Lloyd's Register indica en Part 4, Ch. 1, Sc. 6.2.1 y Sc. 6.3.1, para la estructura longitudinal o transversal del fondo, según sea el caso.

- *Estructura longitudinal (cuerpo central)*

El módulo mínimo deberá ser el mayor de los siguientes:

$$(a) \quad Z = \gamma \cdot s \cdot k \cdot h_{T2} \cdot l_e^2 \cdot F_1$$

$$(b) \quad Z = \gamma \cdot s \cdot k \cdot h_{T3} \cdot l_e^2 \cdot F_1 \cdot F_{sb}$$

- $\gamma = 0,002 \cdot l_e + 0,046$ .
- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- $h_{T3} = h_4 - 0,25 \cdot T$ , en metros.
- h<sub>4</sub>: altura de carga, como se definió para los mamparos: para las planchas de los mamparos estancos, la distancia vertical desde un punto a un tercio de la altura de la plancha por encima de su borde inferior, a un punto 0,91 m por encima de la cubierta de cierre del mamparo, o perpendicular a la línea de flotación más profunda en la condición de avería, obtenida a partir de los cálculos de estabilidad con avería aplicables.
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del longitudinal, para estructuras con doble fondo.
- F<sub>1</sub>: 0,14.
- F<sub>sb</sub>: es un factor de fatiga para los longitudinales del fondo (1,1).

Por lo tanto,  $Z = 291,5 \text{ cm}^3$ .

- *Estructura transversal (cuerpos de popa y proa)*

El módulo mínimo se calcula con la expresión:

$$Z = 2,15 \cdot s \cdot k \cdot T \cdot l_e \cdot 10^{-2}$$

- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- T: calado (7,7 m).
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del longitudinal, para estructuras con doble fondo.

Sustituyendo se tiene que:  $Z = 349,7 \text{ cm}^3$ .

**b) Refuerzos del casco lateral**

Para las características que deben cumplir los refuerzos longitudinales del casco, se tiene en cuenta para el buque proyecto lo indicado en las Tablas 1.6.1 y 1.6.2 de Lloyd's Register, Part 4, Ch. 1, Sc. 6. Se debe distinguir entre las zonas con estructura longitudinal y las de estructura transversal:

- *Estructura longitudinal (cuerpo central)*. Refuerzos longitudinales.

El módulo mínimo se obtiene como el menor de los siguientes:

$$(a) \quad Z = 0,056 \cdot s \cdot k \cdot h_{T1} \cdot l_e^2 \cdot F_1 \cdot F_s$$

$$(b) \quad \text{el mayor de } \begin{cases} Z = \gamma \cdot s \cdot k \cdot h_{T2} \cdot l_e^2 \cdot F_1 \\ Z = \gamma \cdot s \cdot k \cdot h_{T3} \cdot l_e^2 \cdot F_1 \cdot F_{sb} \end{cases}$$

- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- $h_{T1} = C_w \left(1 - \frac{h_6}{D-T}\right) F_\lambda$ , en metros, para longitudinales por encima de la línea de flotación.
- $h_{T1} = \left[h_6 + C_w \left(1 - \frac{h_6}{2 \cdot T}\right)\right] F_\lambda$ , en metros, para los refuerzos por debajo de la línea de calado, T.
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$ .
- $h_6$ : distancia vertical, en metros, desde la línea de flotación al calado T, al longitudinal en consideración.
- $F_\lambda$ : 1,0 para  $L < 200$  m.
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del longitudinal, para estructuras con doble fondo.
- $F_1$ : 0,14.
- $F_s = \frac{1,1}{k} \left[1 - \frac{2 \cdot b_{f1}}{b_f} (1 - k)\right]$ . Aproximadamente 1,0.
- $\gamma = 0,002 \cdot l_e + 0,046$ .
- $h_{T2} = (T + 0,5 \cdot C_w)$ .
- $h_{T3} = h_4 - 0,25 \cdot T$ .
- $F_{sb} = 0,5 \cdot (1 + F_s)$ .

El módulo mínimo que se obtiene es  $Z = 209,4 \text{ cm}^3$ .

Este módulo debe aumentarse un 25 %, como se indica en Lloyd's Register Part 4, Ch. 4, Sc. 4, luego  **$Z = 261,8 \text{ cm}^3$** .

- *Estructura transversal (cuerpos de popa y proa). Refuerzos transversales*

El módulo mínimo se obtiene como el mayor de los siguientes:

$$(a) \quad Z = C \cdot s \cdot k \cdot h_{T1} \cdot H^2 \cdot 10^{-3}$$

$$(b) \quad Z = 9,1 \cdot s \cdot k \cdot D \cdot 10^{-3}$$

$$(c) \quad Z = 2,5 \cdot (0,2 \cdot l_s^2 + H^2) \cdot k \cdot S \cdot H_g$$

- C: 6,1.
- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- $h_{T1} = C_w \left(1 - \frac{h_6}{D_2 - T}\right) F_\lambda$ , en metros, para longitudinales por encima de la línea de flotación.
- $h_{T1} = \left[h_6 + C_w \left(1 - \frac{h_6}{2 \cdot T}\right)\right] F_\lambda$ , en metros, para los refuerzos por debajo de la línea de calado, T.
- $C_w = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot L \cdot e^{-0,0044 \cdot L}$ .
- h<sub>6</sub>: distancia vertical, en metros, desde la línea de flotación al calado T, al longitudinal en consideración.
- F<sub>λ</sub>: 1,0 para L < 200 m.
- H: distancia vertical de los refuerzos transversales (cuadernas).
- D: puntal (9,40 m).
- l<sub>s</sub>: distancia, en metros, desde el forro del casco al apoyo de los refuerzos transversales a bordo.
- S: espacio entre bulárcamas (3,25 m).
- H<sub>g</sub>: altura de la cubierta de intemperie.

Por lo tanto, el módulo mínimo es  **$Z = 309,2 \text{ cm}^3$** .

El módulo añadiendo un 25 % más, tal como exigen la normativa de Lloyd's Register es,  **$Z = 385,5 \text{ cm}^3$** .

#### c) Refuerzos longitudinales de las cubiertas interiores de carga y acomodación

En la tabla 1.4.4, Part 4, Ch. 1, Sc. 4, de Lloyd's Register, se indican los módulos mínimos que deben cumplir los longitudinales de las cubiertas internas de carga y acomodación.

- *Cubiertas de carga para  $L < 90 \text{ m}$*

$$Z = 0,005 \cdot s \cdot k \cdot h_2 \cdot l_e^2$$

Sustituyendo,  **$Z = 154,5 \text{ cm}^3$** .

- *Cubiertas de acomodación para  $L < 90 \text{ m}$*

$$Z = 0,00425 \cdot s \cdot k \cdot h_3 \cdot l_e^2$$

Sustituyendo,  $Z = 87,5 \text{ cm}^3$ .

- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k=1$ .
- $h_3$ : altura de la cubierta de carga (4,5 m).
- $h_3$ : altura de las cubiertas de acomodación (3 m).
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del longitudinal, para estructuras con doble fondo (3,25 m).
- L: eslora de escantillonado (82,50m).

#### d) Refuerzos longitudinales de la cubierta de intemperie

En la tabla 1.4.3, Part 4, Ch. 1, Sc. 4, de Lloyd's Register, se indica que el módulo mínimo de los longitudinales de la cubierta de intemperie debe ser:

$$Z = s \cdot k \cdot (400 \cdot h_1 + 0,005 \cdot (l_e \cdot L_2)^2) \cdot 10^{-4}$$

- s: espaciado de refuerzos longitudinales (650 mm).
- k: para acero con un límite elástico de  $235 \text{ N/mm}^2$ ,  $k=1$ .
- $h_1$ : altura de la cubierta de intemperie (9,4 m).
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del longitudinal, para estructuras con doble fondo.
- L: eslora de escantillonado (82,50m).

Sustituyendo se tiene que el módulo mínimo es  $Z = 456,6 \text{ cm}^3$ .

#### 4.2.6. Puntales

Se denomina puntal a cualquier elemento estructural del buque dispuesto verticalmente y que trabaja por compresión. Los puntales se colocan con el propósito de incrementar la resistencia de las cubiertas para soportar y resistir esfuerzos transversales. Además, soportan los esfuerzos debidos a la carga y absorben parte del momento flector del buque.

En Lloyd's Register, Part 1, Ch. 4, Sc. 4, Table 1.4.7, se indican los requisitos que deben cumplir los puntales del buque.

Cualquier puntal deberá tener una sección mayor o igual a la indicada por la expresión siguiente:

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}}$$

- k: para acero con un límite elástico de 235 N/mm<sup>2</sup>, k=1.
- P: carga, en kN, soportada por el puntal y no debe tomarse menor de 19,62 kN. Su valor se calcula mediante la expresión:  $\frac{9,81 \cdot S \cdot H_g \cdot l_p}{c} + P_a \left( \frac{S \cdot H_g \cdot l_p}{c} + P_a \right)$ .
- $l_e$ : longitud efectiva, en metros, del puntal. Debe tomarse como 0,80 l, siendo l la longitud total del puntal.
- r: radio de giro mínimo del puntal, en mm. Puede tomarse como:  $r = 10 \sqrt{\frac{I}{A_p}}$ .

Por otro lado, el espesor de la pared de los puntales tubulares deberá ser el mayor de los siguientes:

$$(a) \quad t = \frac{P}{d_p \left( 0,392 - 1,53 \cdot \frac{l_e}{r} \right)}$$

$$(b) \quad t = \frac{P}{d_p \left( 0,04 - 0,156 \cdot \frac{l_e}{r} \right)}$$

$$(c) \quad t = \frac{d_p}{40}$$

Siendo  $d_p$  el diámetro principal de los puntales, en mm. Este espesor no debe ser nunca menor de 5,5 mm para buques con  $L < 90$  m.

#### 4.2.7. Resumen del escantillonado de los elementos estructurales

A continuación se presenta una tabla con los valores mínimos requeridos para el escantillonado del buque proyecto y los valores de diseño finalmente elegidos. Los perfiles elegidos han sido elegidos de los catálogos que se incluyen en los anexos a este cuaderno.

Escantillonado de los elementos estructurales		
ELEMENTO	MÍNIMO	DISEÑO
Planchas de quilla	$b_{quilla} = 1550$ mm $t_{quilla} = 15$ mm	$b_{quilla} = 1550$ mm $t_{quilla} = 15$ mm
Planchas del fondo	E.L.: $t_{fondo} = 7,2$ mm E.T.: $t_{fondo} = 12,0$ mm	E.L.: $t_{fondo} = 7,5$ mm E.T.: $t_{fondo} = 12,0$ mm
Planchas de costado	E.L.: $t_{costado} = 9,0$ mm E.T.: $t_{costado} = 10,0$ mm	E.L.: $t_{costado} = 9,0$ mm E.T.: $t_{costado} = 10,0$ mm



<b>Planchas de cubierta</b>	$t_{\text{cubierta}} = 10,8 \text{ mm}$	$t_{\text{cubierta}} = 11,0 \text{ mm}$
<b>Planchas doble fondo</b>	$t_{\text{df}} = 8,9 \text{ mm}$	$t_{\text{df}} = 9,0 \text{ mm}$
<b>Planchas cubierta de carga</b>	$t_{\text{cub}} = 7,7 \text{ mm}$	$t_{\text{cub}} = 8,0 \text{ mm}$
<b>Mamparos estructurales</b>	$t_{\text{mamparos}} = 7,7 \text{ mm}$	$t_{\text{mamparos}} = 8,0 \text{ mm}$
<b>Vagras doble fondo</b>	-Vagra crujía: $t = 13,4 \text{ mm}$ -Vagras DF: E.L.: $t = 9,8 \text{ mm}$ E.T.: $t = 10,4 \text{ mm}$	-Vagra crujía: $t = 14 \text{ mm}$ -Vagras DF: $t = 11,0 \text{ mm}$
<b>Esloras</b>	-Cubierta intemperie: $Z = 1533 \text{ cm}^3$	-Cubierta intemperie: T 457x508
<b>Varengas doble fondo</b>	E.L.: $t = 11,6 \text{ mm}$ E.T.: $t = 10,4 \text{ mm}$	E.L.: $t = 12,0 \text{ mm}$ E.T.: $t = 11,0 \text{ mm}$
<b>Bulárcamas del costado</b>	E.L.: $Z = 8702,5 \text{ cm}^3$ E.T.: $Z = 6744,5 \text{ cm}^3$	E.L.: HE 600x337 E.T.: HE 700 A
<b>Baos de cubierta</b>	-Cubierta intemperie: $Z = 1035 \text{ cm}^3$ -Cubierta carga: $Z = 1758,8 \text{ cm}^3$	-Cubierta intemperie: T 305x508 -Cubierta carga: T 457x508
<b>Longitudinales doble fondo</b>	E.L.: $Z = 291,5 \text{ cm}^3$ E.T.: $Z = 349,7 \text{ cm}^3$	E.L.: HP 320x13 E.T.: HP 340x14
<b>Longitudinales casco</b>	E.L.: $Z = 261,8 \text{ cm}^3$ E.T.: $Z = 385,5 \text{ cm}^3$	E.L.: L 200x200x28 E.T.: L 250x250x25
<b>Longitudinales cubiertas</b>	-Carga: $154,5 \text{ cm}^3$ -Acomodación: $87,5 \text{ cm}^3$ -Intemperie: $456,6 \text{ cm}^3$	-Carga: HP 260x11 -Acomodación: HP 200x11 -Intemperie: HP 370x16

Tabla 3. Resumen del escantillonado del buque proyecto

#### 4.3. Cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra

El cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra se puede hacer a partir del diseño de la misma. En este cálculo se deben incluir todos los elementos longitudinales cuya extensión alcance al menos el 40 % de la eslora del buque. Posteriormente, se podrá comprobar que se cumplen los valores requeridos por la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register. Las características de los perfiles elegidos en el diseño final se especifican en los catálogos de los fabricantes.

Suponiendo una densidad superficial constante para todos los elementos descritos anteriormente, es posible calcular el centro de gravedad de la cuaderna maestra y la inercia de la sección con respecto a un eje transversal de referencia (se elige la línea base de ordenada 0 cm) a través de una hoja de cálculo.

En cuanto al módulo resistente de la cuaderna maestra, se ha calculado dividiendo la inercia de la cuaderna maestra con respecto al eje neutro entre la distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

Los elementos que aparecen en la hoja de cálculo son:

- Tipo y número de elementos.
- A: área de la sección transversal del elemento (cm<sup>2</sup>).
- y: posición vertical del centro de gravedad del elemento (cm).
- I<sub>0</sub>: inercia de la sección con respecto a un eje transversal que pasa por su centro de gravedad (cm<sup>4</sup>).
- I<sub>x</sub>: inercia de la sección con respecto al eje transversal de referencia (cm<sup>4</sup>).

$$I_x = I_0 + A \cdot y^2$$

- d: posición vertical del eje neutro con respecto al eje transversal de referencia.

$$d = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A}$$

- I<sub>CM</sub>: inercia de la cuaderna maestra con respecto al eje neutro.

$$I_{CM} = \left( \sum I_x \right) - \left( \sum A \right) \cdot d^2$$

- d': distancia de la fibra más alejada con respecto al eje neutro.
- Z: módulo de la cuaderna maestra.

$$Z = \frac{I_{CM}}{d'}$$

Se muestran a continuación los resultados obtenidos de estos cálculos.

Elemento	Tipo	nº	a(cm)	b(cm)	A(cm2)	y(cm)	A*y(cm3)	A*y^2(cm4)	I0(cm4)	Ix(cm4)
Plancha de quilla	Plancha	1	155	1,5	232,5	0,75	174,375	130,78125	43,59	174,375
Plancha de fondo	Plancha	2	910	0,75	1365	0,375	511,875	191,953125	31,99	223,9453125
Plancha doble fondo	Plancha	2	910	0,9	1638	150,45	246437,1	37076461,7	55,28	37076516,98
Vagra crujía	Plancha	1	1,4	150	210	75	15750	1181250	393750,00	1575000
Vagra doble fondo	Plancha	4	1,1	150	660	75	49500	3712500	309375,00	4021875
Longitudinal fondo	HP 320x13	26			1492,14	19,9	29693,586	590902,361	5831,26	596733,6214
Longitudinal DF	HP 320x13	26			1492,14	169,9	253514,586	43072128,2	5831,26	43077959,42
Planchas costado		4	1	850	3400	425	1445000	614125000	51177083,3	665302083,3
<b>Longitudinales forro</b>										
L1	L200x200x28	1			105	374	39270	14686980	3784	14690764
L2	L200x200x28	1			105	487	51135	24902745	3784	24906529
L3	L200x200x28	1			105	713	74865	53378745	3784	53382529
L4	L200x200x28	1			105	826	86730	71638980	3784	71642764
Plancha cubierta carga	Plancha	2	1050	0,8	1680	600,4	1008672	605606669	44,8	605606713,6
Longitudinal cub. Carga	HP 260x11	27			1043,55	583,99	609422,765	355896800	2593,45	355899393,7
Plancha cub. intemperie	Plancha	2	1070	1,1	2354	940,55	2214054,7	2082429148	118,680833	2082429267
Longitudinal cub. Intem.	HP 370x16	25			2017,5	917,14	1850329,95	1697011610	10935,9	1697022546
Esloras cub. intemperie	T 457x508	2			622	906	563532	510559992	64590	510624582
Longitudinal cub. Acom.	HP 200x11	8			220,8	1228,17	271179,936	333055062	1084,33	333056146,3
<b>Longitudinales amuras</b>										
L5	HP200x11	1			27,6	1040	28704	29852160	1084,33	29853244,33
L6	HP200x11	1			27,6	1140	31464	35868960	1084,33	35870044,33

Tabla 4. Cálculo del centro de gravedad, inercia y módulo de la cuaderna maestra

$$d = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = 469,2 \text{ cm}$$

$$I_{CM} = \left( \sum I_x \right) - \left( \sum A \right) \cdot d^2 = 2\,404\,514\,863 \text{ cm}^4$$

$$d' = 774,5 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el módulo resistente de la cuaderna maestra es:

$$Z = \frac{I_{CM}}{d'} = 3\,104\,603\,cm^3$$

## **5. Comprobación de resistencia general, con situaciones de carga preliminares, y comprobación de tensiones según reglamentos**

En este punto del proyecto ya se tienen dimensionados los elementos estructurales del buque proyecto, por lo tanto, se pueden hacer las comprobaciones de resistencia general del buque proyecto según la normativa aplicable.

### **5.1. Comprobación de resistencia general**

#### **5.1.1. Situaciones de carga preliminares**

Las situaciones de carga preliminares del buque proyecto elegidas son las mínimas, que se indican en la referencia [5], *Proyecto básico del buque mercante*.

- Salida de puerto, totalmente cargado con carga homogénea distribuida por todos los espacios de carga y con el total de combustible y provisiones.
- Llegada a puerto, en las mismas condiciones que en el apartado anterior, pero con 10% de combustible y provisiones.
- Cuando entre las situaciones anteriores se proceda a llenar, por razones de estabilidad algún tanque de lastre, la condición “Buque inmediatamente antes de lastrear”.
- En los buques que dan servicio a plataformas petrolíferas debe considerarse la importante elevación del centro de gravedad por el transporte de grandes cargas en cubierta.

#### **5.1.2. Módulo de resistencia**

En el apartado 3.2.1. se indicó el módulo resistente mínimo que debe tener la cuaderna maestra, exigido por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.4.

$$Z_{min} = 1\,420\,640\,cm^3 \approx 1,42\,m^3$$

Se comprueba, por lo tanto, que se cumple este valor con un margen amplio, ya que el módulo resistente de la cuaderna maestra es, aproximadamente,  $3,10 \text{ m}^3$ .

### 5.1.3. Momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra

El momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra respecto al eje neutro transversal se indicó en el apartado 3.5. No debe ser inferior al requerido por Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.8.

$$I_{\min} = 1,049 \text{ m}^4$$

Al ser el momento de inercia de la cuaderna maestra diseñada para el buque proyecto  $I_{CM} = 24,05 \text{ cm}^4$ , se puede concluir entonces que este valor también cumple con los requerimientos.

## 5.2. Comprobación de tensiones según reglamentos

Como se dijo en el apartado 3.3., según el reglamento de Lloyd's Register, Part 3, Ch. 4, Sc. 5.6, la máxima tensión admisible es:

- Entre  $L=24,75 \text{ m}$  y  $L=57,75 \text{ m}$ :

$$\sigma = \frac{175}{k_L} = 175 \text{ N/mm}^2$$

- Para el resto del buque:

$$\sigma = \left( 75 + 543 \cdot \frac{d}{L} - 699 \left( \frac{d}{L} \right)^2 \right) \cdot \frac{1}{k_L}$$

Siendo  $d$  la distancia desde:

- El punto en cuestión y la perpendicular de popa, si dicho punto se encuentra comprendido entre  $L=0 \text{ m}$  y  $L=24,75 \text{ m}$ .
- El punto en cuestión y la perpendicular de proa si dicho punto se encuentra comprendido entre  $L=57,75 \text{ m}$  y  $L=85 \text{ m}$ .

Se comprueba seguidamente que se cumplen las condiciones de resistencia en las distintas situaciones de carga. Se debe cumplir que:

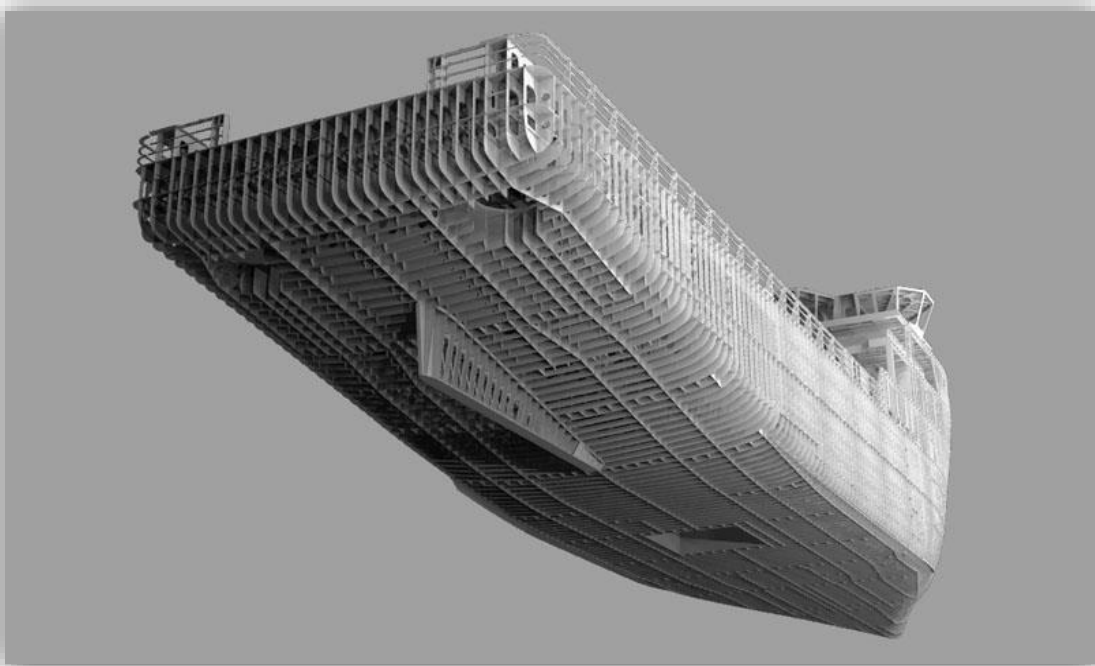
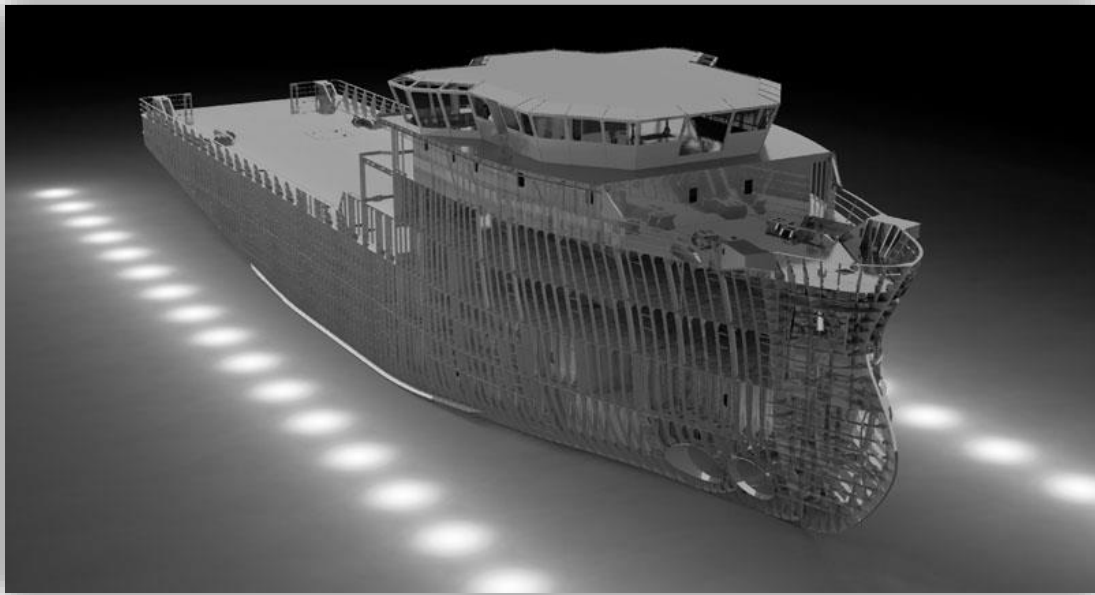
$$Z \geq \frac{M_{\text{flector máximo}}}{\sigma_{\text{máx adm}}} \rightarrow Z_{\min} > \frac{M_{\text{flector máximo}}}{\sigma_{\text{máx adm}}} = \frac{222541,8 \text{ Nm}}{175 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1271667,4 \text{ cm}^3$$

Se cumple entonces que módulo resistente de la cuaderna maestra es mayor que este valor mínimo.

Por lo tanto, el escantillonado realizado para el buque proyecto será conveniente para cumplir con los requisitos de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y, por consiguiente, será capaz de soportar los esfuerzos a los que se enfrentará dicho buque.

## **6. Plano de la cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales**

Se presenta anexo a este cuaderno el plano de la cuaderna maestra del buque proyecto con los elementos longitudinales y transversales.



## **7. Bibliografía general**

### **7.1. Bibliografía básica**

- [1] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [2] Francisco Fernández González. *Construcción Naval I*. ETSIN.
- [3] Tata Steel [Guía de producto]. *Bulb Flats*. <> <http://www.tatasteel.com/>
- [4] Arcelor Mittal [Web en línea]. <> <http://www.sections.arcelormittal.com/>
- [5] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.

### **7.2. Bibliografía complementaria**

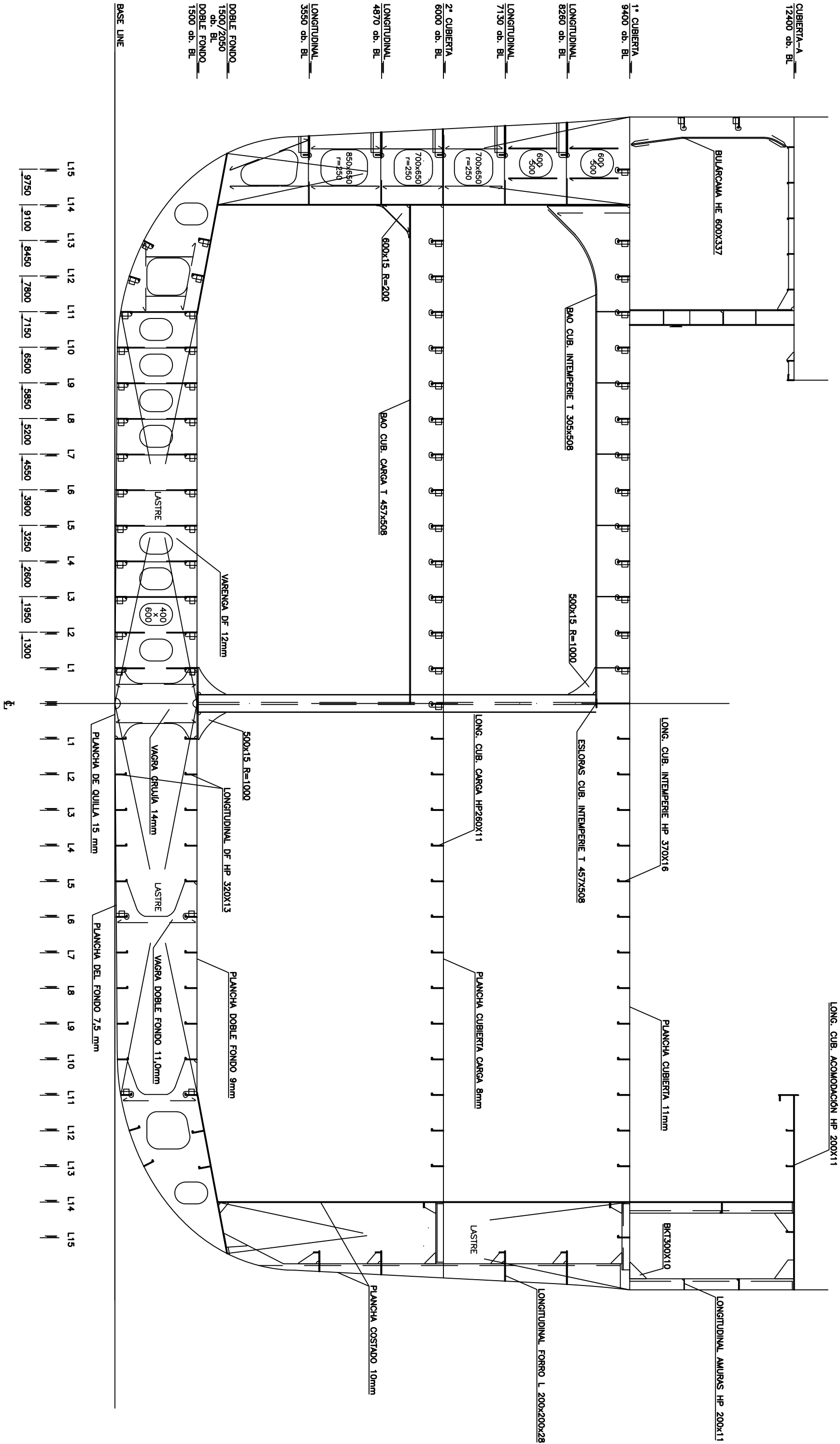
- [1] Foto de portada. REMAS. <> <http://www.seaplace.es/>
- [2] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.

## **ANEXO I – Perfiles bulbo**



## **ANEXO II – Perfiles HE**

## **ANEXO III – Perfiles L**



NOTACION DE CLASE: LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

LRS, 100A1, Offshore Supply Ship/AHTS, DP(AA)

MATERIAL: Acero naval de grado A, límite elástico 235 N/mm2

MOMENTO FLECTOR ADMISIBLE (ARRUFO): 156270,4 kNm

MOMENTO FLECTOR ADMISIBLE (QUEBRANTO): 124579,2 kNm

ALTURA DEL EJE NEUTRO: 465,5 cm


INERCIJA DE LA SECCION: 24,32 m4

MÓDULO DE RESISTENCIA: 3,14 m3

NOTA: sección mirando hacia proa

CARACTERISTICAS PRINCIPALES			
ESLORA MÁXIMA, Loo	85,00	m	
ESLORA DE ESCANTILLONADO, Le	82,50	m	
MANGA, B	21,70	m	
PUNTAL DE DISEÑO, D	9,40	m	
CALADO DE ESCANTILLONADO, T	7,70	m	
CLARA ENTRE CUADERNAS:	650	mm	
CLARA ENTRE LONGITUDINALES:	650	mm	
CLARA ENTRE BULARCAMAS:	3250	mm	
CLARA ENTRE VARENGAS:	3250	mm	
CLARA ENTRE VAGRAS:	3900/3250	mm	
CLARA ENTRE BAOS:	650	mm	

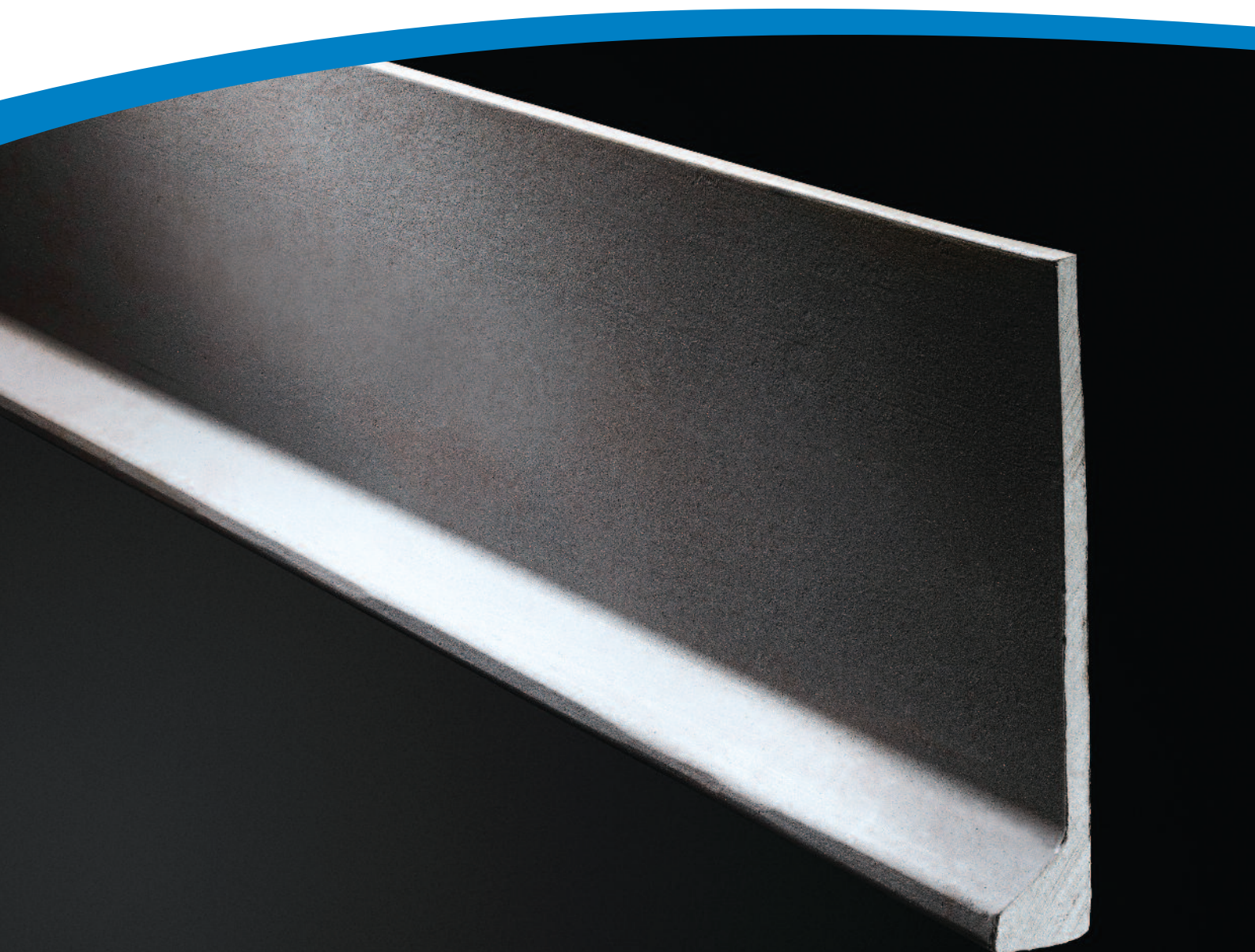
CUADERNA 63

				AUTOR:	
				José Larrañeta García	
NAVALES				TUTOR:	
				José María Riola Rodríguez	
ESCALA:	FORMATO:	HOJA:	Nº PFC:	BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL NORTE 4500 TPM	
1:150	A2	1/1	223		
			LRS, 100A1, Offshore Supply Ship/AHTS, DP(AA)		
			DISEÑO:		
			FECHA:		
			31/1/2015	CUADERNA MAESTRA	
				CUADERNA 63	

**TATA STEEL**



## **Bulb Flats**

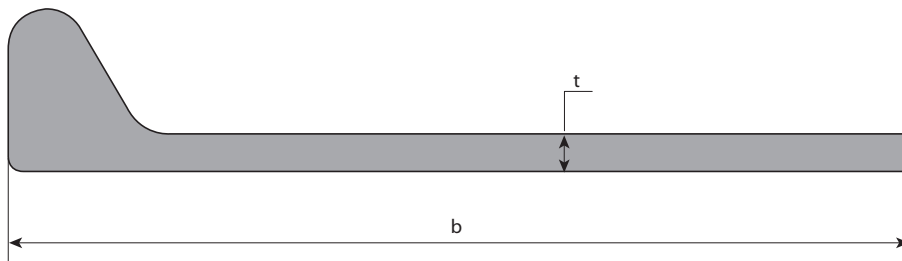




# Delivery conditions for shipbuilding steel

## 1.0 Dimensions

### 1.1 Width



Width b, (mm)	EN10067/ Tata Steel Standard	Tata Steel Special 1	Tata Steel Special 2
$\geq 160 \leq 180$	$\pm 2.0$ mm	$\pm 2.0$ mm	$\pm 1.5$ mm
$\geq 180 \leq 300$	$\pm 3.0$ mm	$\pm 2.2$ mm	$\pm 1.7$ mm
$\geq 300 \leq 430$	$\pm 4.0$ mm	$\pm 3.0$ mm	$\pm 2.0$ mm

Our special width tolerances are achieved through an offline 100% weld edge grinding process. This ensures clean flat edges for superior welding.

Even closer tolerances may be accepted after special agreement.

### 1.2 Thickness

Thickness tolerances for different widths ranges.

Width, b (mm)	EN10067/Tata Steel Standard	Tata Steel Special 1
$\geq 160 \leq 180$	-0.3 / + 1.0 mm	-0.2 / + 0.6 mm
$> 180 \leq 300$	-0.4 / + 1.0 mm	-0.3 / + 0.6 mm
$> 300 \leq 430$	-0.4 / + 1.2 mm	-0.3 / + 0.6 mm

### 1.3 Length

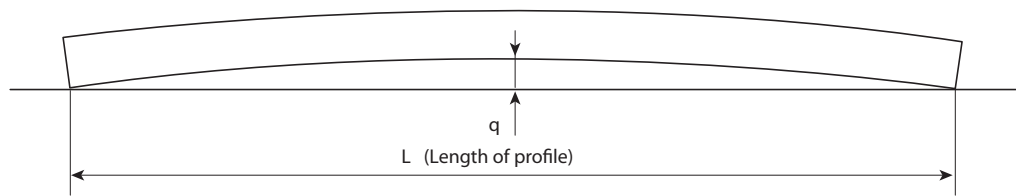
Closer tolerances may be achieved by special agreement.

Length, L	EN10067/Tata Steel Standard
All	-0 / + 100 mm

Individual lengths up to 16.5m maximum are available as a standard stackable length. Lengths outside this range may be available on request on a limited tonnage basis.

1.4 Straightness - Bow and Camber

As measured over the length of the bar.

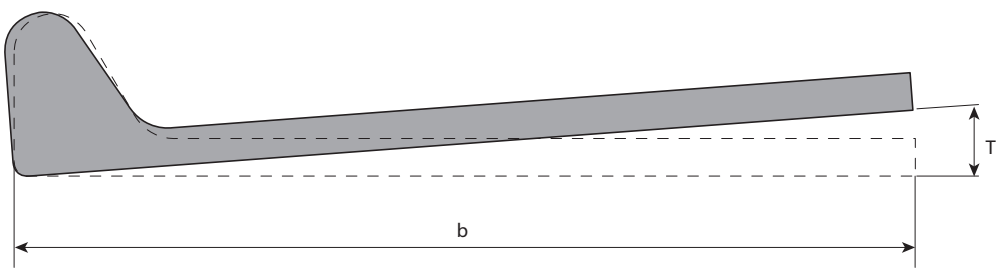


Length	EN10067/ Tata Steel Standard	Tata Steel Special 1	Tata Steel Special 2
L ≤ 18m	$q \leq 0.0035 \times L$	$q \leq 0.0025 \times L$	$q \leq 0.00125 \times L$

1.5 Torsion

The permissible degree of twist is given as the following calculation:

Torsion,  $T = \text{width} \times \sin \text{tol degree,} \times \text{length}$



Length	Tata Steel Standard	Tata Steel Special
All	0.5 °/m	0.35 °/m

Typical worked example Tata Steel Standard

Torsion:  $T = b \times \sin 0.5^\circ \times L$

Length, L					
	6 m	10 m	12 m	15 m	18 m
Width, b (mm)	Torsion, T				
240	13	21	25	31	38

Typical worked example Tata Steel Special

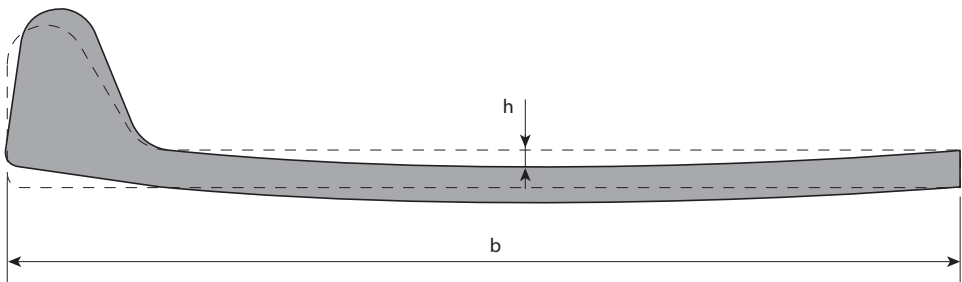
Torsion:  $T = b \times \sin 0.35^\circ \times L$

		Length, L				
		6 m	10 m	12 m	15 m	18 m
Width, b (mm)		Torsion, T				
240	9	15	18	22	26	

1.6 Flatness

The plate flatness tolerance **h** is 0.3% of the bulb flat width **b** and is measured as shown below.

Plate flatness tolerance:  $h \leq 0.003 \times b$



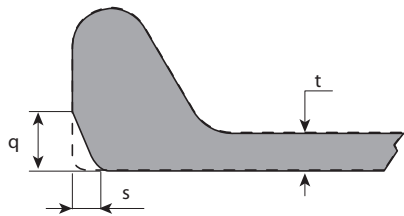
The bulb flatness tolerance of the heel is **n** measured as shown below with a 2mm maximum.

Bulb flatness tolerance:  $n \leq 2.0 \text{ mm}$





1.7 Shape



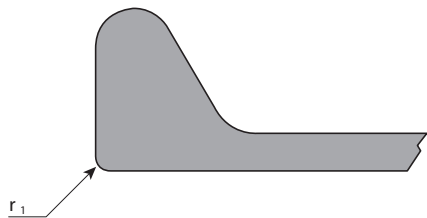
The dimensions s and q are measured as illustrated above.

Bulb head corner tolerances s

Thickness	Tolerance
$t \leq 9\text{ mm}$	$s \leq 2.0\text{ mm}$
$9 < t \leq 13\text{ mm}$	$s \leq 3.0\text{ mm}$
$t > 13\text{ mm}$	$s \leq 4.0\text{ mm}$

Bulb head corner tolerances q

Thickness	Tolerance
$t > 7\text{ mm}$	$q \leq 0.75\text{ S}$

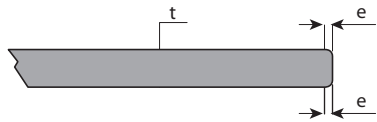


Bulb head corner tolerances radius r1

Radius of curvature of corners  
r1 for thickness

Thickness	r1 Maximum
$5 \leq t < 9$	2.0
$9 \leq t < 13$	3.0
$13 \leq t \leq 20$	4.0

The dimensions r1 is measured as illustrated above.

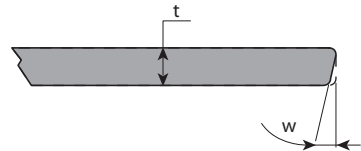


The dimension e is measured as illustrated above.

Web edge tolerances e

Thickness	EN10067 - Tata Steel Standard
$t \leq 9\text{ mm}$	$e \leq 2.0\text{ mm}$
$9 < t \leq 13\text{ mm}$	$e \leq 3.0\text{ mm}$
$t > 13\text{ mm}$	$e \leq 4.0\text{ mm}$

Tighter tolerances may be available on request through grinding of the web edge.



The dimension w is measured as illustrated above.

Web edge tolerances angle w

Thickness	Tolerance
$t \leq 9\text{ mm}$	$w \leq 4^\circ$
$9 < t \leq 13\text{ mm}$	$w \leq 4^\circ$
$t > 13\text{ mm}$	$w \leq 4^\circ$

Tighter tolerance on web edge tolerance e and angle w may be available on request through offline grinding of the web edge.

Bulb flats are manufactured with rounded edges, eliminating the need for the labour-intensive and costly grinding process needed to meet new International Maritime Organisation guidelines.

## 2.0 Surface Condition

The surface requirements and repair conditions for shipbuilding profiles are in accordance with EN 10163-3:2004, subclass 3, class C. Maximum permissible depth of discontinuities and grinding allowance below minimum specified thickness are given in table below:

Nominal thickness of the Product, t	Maximum permissible depth of discontinuities (mm)
$3 \leq t < 6$	20% of t
$6 \leq t < 20$	1.2
$20 \leq t < 40$	1.7

## 3.0 Requirements for Blast-Cleaned and Primed Material

The material can be delivered in blast-cleaned and primed condition in accordance with EN10238:1996. The standard supply conditions are as follows:

Preparation grade:	Sa 2 ½
Surface roughness:	M (medium in acc. with ISO 8503-2)
Dry film thickness:	20 µm ± 5 µm
Types of primers:	To be agreed

## Steel types and grades

Special Profiles operations are in accordance with ISO9001:2008

The company also has approval of the world's leading classification societies such as: ABS, BV, CCS, DNV, GL, LRS, NKK, RINA, and RMRS.

Below is a list of sample grades we regularly produce.

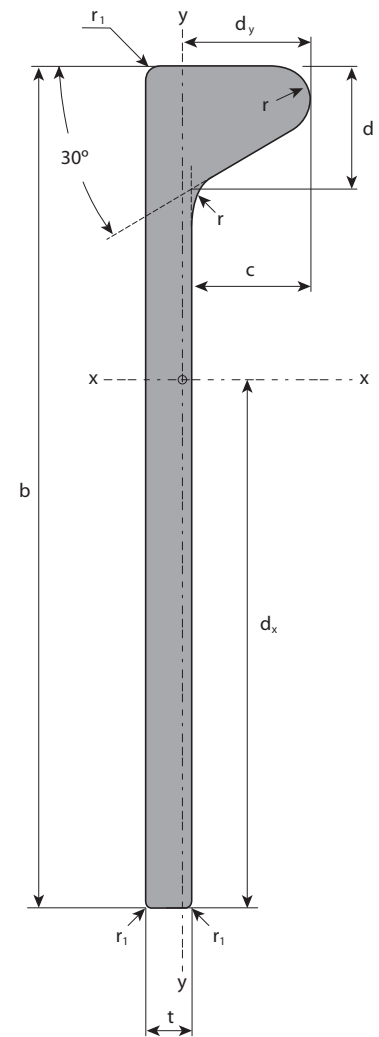
Shipbuilding Steels		Structural Steels	
Strength	Grade	Euronorm	Grade
Normal	A, B	ASTM	A572 Gr50
	D		S235JR+AR
	E		S235J0+AR
High Strength	A32	EN10025-2	S235J2+AR
	D32		S275JR+AR
	E32		S275J0+AR
	A36		S275J2+AR
	D36		S355JR+AR
	E36		S355J0+AR
	A40		S355J2+AR
	D40	EN10025-4	S355M
	E40	EN10225	G1*
			G4

\* Excluding 100% inspection and individual bar marking.

## Dimensions and Properties

Section Description	Section Description					Mass per metre	Area of section	Surface area per metre	Distance to Centre of Gravity		Second Moment of Area	
	b mm	t mm	c mm	d mm	r mm	G kg/m	F cm <sup>2</sup>	U m <sup>2</sup> /m	dx mm	dy mm	Ix cm <sup>4</sup>	Iy cm <sup>4</sup>
160x7	160	7.0	22.0	22.2	6.0	11.44	14.58	0.365	96.7	6.5	371.10	5.85
160x8	160	8.0	22.0	22.2	6.0	12.70	16.18	0.367	95.1	6.8	409.27	6.54
160x9	160	9.0	22.0	22.2	6.0	13.95	17.78	0.370	93.7	7.1	446.70	7.31
160x10	160	10.0	22.0	22.2	6.0	15.19	19.34	0.371	92.6	7.5	481.31	8.15
160x11	160	11.0	22.0	22.2	6.0	16.44	20.94	0.373	91.7	7.9	517.81	9.09
160x11.5	160	11.5	22.0	22.2	6.0	17.07	21.74	0.374	91.3	8.1	535.93	9.60
180x8	180	8.0	25.0	25.5	7.0	14.78	18.83	0.412	109.0	7.4	606.55	9.89
180x9	180	9.0	25.0	25.5	7.0	16.20	20.63	0.414	107.4	7.7	661.09	10.92
180x10	180	10.0	25.0	25.5	7.0	17.59	22.40	0.416	106.0	8.1	711.72	12.03
180x11	180	11.0	25.0	25.5	7.0	19.00	24.20	0.418	104.8	8.4	764.60	13.25
180x11.5	180	11.5	25.0	25.5	7.0	19.70	25.10	0.419	104.3	8.6	790.81	13.90
200x8.5	200	8.5	28.0	28.8	8.0	17.77	22.63	0.458	122.2	8.2	901.07	15.06
200x9	200	9.0	28.0	28.8	8.0	18.55	23.63	0.459	121.3	8.4	939.14	15.75
200x10	200	10.0	28.0	28.8	8.0	20.10	25.60	0.460	119.7	8.7	1010.47	17.18
200x11	200	11.0	28.0	28.8	8.0	21.67	27.60	0.463	118.3	9.0	1084.33	18.75
200x11.5	200	11.5	28.0	28.8	8.0	22.45	28.60	0.464	117.6	9.2	1120.89	19.57
200x12	200	12.0	28.0	28.8	8.0	23.24	29.60	0.465	117.0	9.4	1157.23	20.43
220x9	220	9.0	31.0	32.1	9.0	21.02	26.78	0.504	135.5	9.1	1290.48	22.01
220x10	220	10.0	31.0	32.1	9.0	22.72	28.94	0.505	133.7	9.3	1387.89	23.86
220x11	220	11.0	31.0	32.1	9.0	24.45	31.14	0.507	132.0	9.7	1488.07	25.83
220x11.5	220	11.5	31.0	32.1	9.0	25.31	32.24	0.509	131.2	9.8	1537.57	26.87
220x12	220	12.0	31.0	32.1	9.0	26.17	33.34	0.510	130.5	10.0	1586.73	27.94
230x11	230	11.0	32.5	33.75	9.5	25.88	32.97	0.530	138.9	10.0	1724.98	30.05
240x9.5	240	9.5	34.0	35.4	10.0	24.51	31.23	0.549	148.9	9.9	1787.40	31.12
240x10	240	10.0	34.0	35.4	10.0	25.46	32.43	0.550	147.9	10.0	1854.67	32.30
240x10.5	240	10.5	34.0	35.4	10.0	26.40	33.63	0.551	146.9	10.2	1921.25	33.52
240x11	240	11.0	34.0	35.4	10.0	27.34	34.83	0.552	145.9	10.3	1987.20	34.78
240x11.5	240	11.5	34.0	35.4	10.0	28.28	36.03	0.554	145.1	10.5	2052.60	36.06
240x12	240	12.0	34.0	35.4	10.0	29.22	37.23	0.555	144.3	10.6	2117.50	37.39
260x10	260	10.0	37.0	38.7	11.0	28.30	36.05	0.595	162.3	10.7	2421.72	42.80
260x11	260	11.0	37.0	38.7	11.0	30.34	38.65	0.597	160.1	11.0	2593.45	45.86
260x12	260	12.0	37.0	38.7	11.0	32.38	41.25	0.600	158.2	11.3	2762.00	49.07
260x13	260	13.0	37.0	38.7	11.0	34.43	43.85	0.602	156.5	11.6	2927.94	52.45
280x10.5	280	10.5	40.0	42.0	12.0	32.36	41.22	0.641	175.7	11.6	3210.10	57.50
280x11	280	11.0	40.0	42.0	12.0	33.46	42.62	0.642	174.5	11.7	3318.79	59.39
280x12	280	12.0	40.0	42.0	12.0	35.66	45.42	0.645	172.4	11.9	3532.99	63.29
280x13	280	13.0	40.0	42.0	12.0	37.86	48.22	0.647	170.5	12.2	3743.56	67.37
300x11	300	11.0	43.0	45.3	13.0	36.69	46.73	0.687	189.1	12.4	4175.43	75.68
300x12	300	12.0	43.0	45.3	13.0	39.04	49.73	0.690	186.7	12.7	4443.49	80.39
300x13	300	13.0	43.0	45.3	13.0	41.40	52.73	0.692	184.6	12.9	4706.64	85.27
320x11.5	320	11.5	46.0	48.6	14.0	41.28	52.59	0.733	202.5	13.3	5342.16	97.86
320x12	320	12.0	46.0	48.6	14.0	42.54	54.19	0.735	201.3	13.4	5506.76	100.69
320x12.5	320	12.5	46.0	48.6	14.0	43.79	55.79	0.736	200.1	13.5	5669.75	103.58
320x13	320	13.0	46.0	48.6	14.0	45.05	57.39	0.737	199.0	13.6	5831.26	106.51
320x13.5	320	13.5	46.0	48.6	14.0	46.27	58.94	0.737	198.0	13.7	5977.59	109.44
320x14	320	14.0	46.0	48.6	14.0	47.53	60.54	0.738	197.0	13.9	6136.58	112.48
340x12	340	12.0	49.0	52.0	15.0	46.15	58.78	0.780	216.0	14.1	6736.30	124.57
340x12.5	340	12.5	49.0	52.0	15.0	47.48	60.48	0.781	214.7	14.2	6934.97	127.98
340x13	340	13.0	49.0	52.0	15.0	48.81	62.18	0.782	213.5	14.3	7131.73	131.44
340x14	340	14.0	49.0	52.0	15.0	51.45	65.54	0.784	211.3	14.6	7504.42	138.47
340x15	340	15.0	49.0	52.0	15.0	54.12	68.94	0.786	209.2	14.8	7886.99	145.80
370x12.5	370	12.5	53.5	56.9	16.5	53.22	67.79	0.848	236.9	15.4	9184.55	172.23
370x13	370	13.0	53.5	56.9	16.5	54.67	69.64	0.850	235.5	15.5	9444.05	176.62
370x14	370	14.0	53.5	56.9	16.5	57.54	73.30	0.851	233.0	15.7	9936.79	185.49
370x15	370	15.0	53.5	56.9	16.5	60.44	77.00	0.854	230.7	15.9	10440.07	194.68
370x16	370	16.0	53.5	56.9	16.5	63.35	80.70	0.857	228.6	16.1	10935.90	204.14
400x13	400	13.0	58.0	61.9	18.0	60.78	77.43	0.918	257.9	16.6	12234.74	232.34
400x14	400	14.0	58.0	61.9	18.0	63.88	81.38	0.919	255.1	16.8	12872.91	243.41
400x15	400	15.0	58.0	61.9	18.0	67.02	85.38	0.922	252.5	17.0	13521.89	254.79
400x16	400	16.0	58.0	61.9	18.0	70.16	89.38	0.925	250.2	17.2	14160.53	266.45
430x14	430	14.0	62.5	66.8	19.5	70.48	89.78	0.987	277.5	18.0	16366.61	313.68
430x15	430	15.0	62.5	66.8	19.5	73.85	94.08	0.990	274.6	18.1	17189.22	327.65
430x17	430	17.0	62.5	66.8	19.5	80.60	102.68	0.995	269.6	18.5	18794.22	356.44
430x18	430	18.0	62.5	66.8	19.5	83.98	106.98	0.998	267.4	18.8	19579.84	371.35
430x19	430	19.0	62.5	66.8	19.5	87.36	111.28	1.001	265.4	19.0	20355.95	386.65
430x20	430	20.0	62.5	66.8	19.5	90.73	115.58	1.004	263.5	19.3	21123.62	402.40

Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
Zx cm <sup>3</sup>	Zy cm <sup>3</sup>	rx cm	ry cm	H cm <sup>6</sup> /10 <sup>3</sup>	J cm <sup>4</sup>
38.4	9.0	5.05	0.63	1.11	3.65
43.0	9.7	5.03	0.64	1.15	4.57
47.7	10.3	5.01	0.64	1.19	5.73
52.0	10.9	4.99	0.65	1.22	7.12
56.5	11.5	4.97	0.66	1.26	8.86
58.7	11.9	4.96	0.66	1.29	9.85
55.6	13.3	5.67	0.72	2.41	6.24
61.6	14.1	5.66	0.73	2.47	7.57
67.1	14.9	5.64	0.73	2.52	9.15
72.9	15.7	5.62	0.74	2.60	11.13
75.8	16.1	5.61	0.74	2.64	12.26
73.7	18.3	6.31	0.82	4.71	9.20
77.4	18.8	6.30	0.82	4.76	10.00
84.4	19.8	6.28	0.82	4.83	11.78
91.7	20.8	6.27	0.82	4.95	14.01
95.3	21.3	6.26	0.83	5.02	15.28
98.9	21.8	6.25	0.83	5.09	16.65
95.2	24.3	6.94	0.91	8.61	13.17
103.8	25.5	6.92	0.91	8.72	15.16
112.7	26.8	6.91	0.91	8.90	17.65
117.2	27.4	6.91	0.91	8.99	19.06
121.6	28.0	6.90	0.92	9.10	20.60
124.2	30.1	7.23	0.95	11.69	19.81
120.0	31.4	7.57	1.00	14.83	18.25
125.4	32.2	7.56	1.00	14.94	19.46
130.8	33.0	7.56	1.00	15.06	20.78
136.2	33.8	7.55	1.00	15.19	22.22
141.5	34.5	7.55	1.00	15.33	23.79
146.8	35.2	7.54	1.00	15.48	25.49
149.2	39.9	8.20	1.09	24.54	24.85
162.0	41.8	8.19	1.09	24.87	27.91
174.6	43.6	8.18	1.09	25.25	31.50
187.0	45.3	8.17	1.09	25.69	35.69
182.7	49.7	8.82	1.18	39.05	33.16
190.2	50.8	8.82	1.18	39.27	34.90
205.0	53.0	8.82	1.18	39.77	38.84
219.6	55.1	8.81	1.18	40.34	43.42
220.8	60.9	9.45	1.27	60.10	43.42
238.0	63.5	9.45	1.27	60.72	47.73
254.9	66.1	9.45	1.27	61.45	52.71
263.8	73.7	10.08	1.36	89.86	55.95
273.6	75.3	10.08	1.36	90.25	58.38
283.4	76.8	10.08	1.36	90.68	60.99
293.1	78.3	10.08	1.36	91.15	63.79
301.9	79.7	10.07	1.36	91.35	66.51
311.5	81.1	10.07	1.36	91.89	69.71
311.9	88.2	10.70	1.46	131.02	71.06
323.1	89.9	10.71	1.45	131.53	73.88
334.1	91.7	10.71	1.45	132.09	76.91
355.2	95.0	10.70	1.45	132.97	83.29
377.0	98.3	10.70	1.45	134.41	90.88
387.8	112.1	11.64	1.59	221.07	97.62
401.0	114.2	11.64	1.59	221.76	101.01
426.5	118.5	11.64	1.59	222.83	108.11
452.5	122.6	11.64	1.59	224.72	116.55
478.4	126.6	11.64	1.59	226.88	126.04
474.5	139.7	12.57	1.73	357.80	131.25
504.7	145.0	12.58	1.73	358.96	139.13
535.5	150.1	12.58	1.73	361.32	148.48
566.1	154.9	12.59	1.73	364.08	158.97
589.9	174.7	13.50	1.87	559.02	177.41
626.0	180.8	13.52	1.87	561.76	187.72
697.1	192.5	13.53	1.86	569.01	212.09
732.2	197.9	13.53	1.86	573.41	226.30
767.0	203.4	13.52	1.86	578.26	241.98
801.6	208.6	13.52	1.87	583.53	259.20





[www.tatasteel.com](http://www.tatasteel.com)

While care has been taken to ensure that the information contained in this brochure is accurate, neither Tata Steel Europe Limited nor its subsidiaries accept responsibility or liability for errors or information which is found to be misleading.

**Tata Steel**

PO Box 1

Skinningrove

Saltburn

TS13 4ET

United Kingdom

T: +44 (0) 1287 640212

F: +44 (0) 1287 593009

Tata Steel Europe Limited is registered in England under number 05957565 with registered office at 30 Millbank, London, SW1P 4WY.

English 1.0

# Poutrelles européennes à larges ailes

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$  conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$  in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Europäische Breitflanschträger

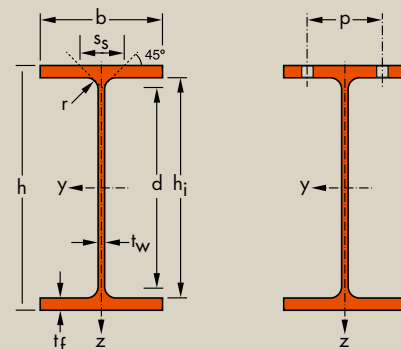
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$  gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
G  kg/m	h  mm	b  mm	t <sub>w</sub>  mm	t <sub>f</sub>  mm	r  mm	A  mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	h <sub>i</sub>  mm	d  mm	Ø	p <sub>min</sub>  mm	p <sub>max</sub>  mm	A <sub>L</sub>  m <sup>2</sup> /m	A <sub>G</sub>  m <sup>2</sup> /t	
HE 100 AA *	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,553	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	33,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA *	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,669	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	34,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16
HE 140 AA *	18,1	128	140	4,3	6	12	23,0	116	92	M 16	64	76	0,787	43,53
HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,4	116	92	M 16	64	76	0,794	32,21
HE 140 B	33,7	140	140	7	12	12	43,0	116	92	M 16	66	76	0,805	23,88
HE 140 M	63,2	160	146	13	22	12	80,6	116	92	M 16	72	82	0,857	13,56
HE 160 AA *	23,8	148	160	4,5	7	15	30,4	134	104	M 20	76	84	0,901	37,81
HE 160 A	30,4	152	160	6	9	15	38,8	134	104	M 20	78	84	0,906	29,78
HE 160 B	42,6	160	160	8	13	15	54,3	134	104	M 20	80	84	0,918	21,56
HE 160 M	76,2	180	166	14	23	15	97,1	134	104	M 20	86	90	0,970	12,74
HE 180 AA *	28,7	167	180	5	7,5	15	36,5	152	122	M 24	84	92	1,018	35,51
HE 180 A	35,5	171	180	6	9,5	15	45,3	152	122	M 24	86	92	1,024	28,83
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	65,3	152	122	M 24	88	92	1,037	20,25
HE 180 M	88,9	200	186	14,5	24	15	113,3	152	122	M 24	94	98	1,089	12,25
HE 200 AA *	34,6	186	200	5,5	8	18	44,1	170	134	M 27	96	100	1,130	32,62
HE 200 A	42,3	190	200	6,5	10	18	53,8	170	134	M 27	98	100	1,136	26,89
HE 200 B	61,3	200	200	9	15	18	78,1	170	134	M 27	100	100	1,151	18,78
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131,3	170	134	M 27	106	106	1,203	11,67
HE 220 AA *	40,4	205	220	6	8,5	18	51,5	188	152	M 27	98	118	1,247	30,87
HE 220 A	50,5	210	220	7	11	18	64,3	188	152	M 27	98	118	1,255	24,85
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	91,0	188	152	M 27	100	118	1,270	17,77
HE 220 M	117	240	226	15,5	26	18	149,4	188	152	M 27	108	124	1,322	11,27
HE 240 AA *	47,4	224	240	6,5	9	21	60,4	206	164	M 27	104	138	1,359	28,67
HE 240 A	60,3	230	240	7,5	12	21	76,8	206	164	M 27	104	138	1,369	22,70
HE 240 B	83,2	240	240	10	17	21	106,0	206	164	M 27	108	138	1,384	16,63
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199,6	206	164	M 27	116	146	1,460	9,318

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z							Pure bending y-y			Pure compression					
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>vz</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	S <sub>s</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1033	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,62	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,36	3,97	36,07	6,33	23,75	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	93,75	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 M	103	10640	967,4	1135	9,00	41,03	3651	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 AA	40,4	4170	406,9	445,5	9,00	17,63	1510	137,3	209,3	5,42	44,09	15,93	145,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 220 A	50,5	5410	515,2	568,5	9,17	20,67	1955	177,7	270,6	5,51	50,09	28,46	193,3	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 220 B	71,5	8091	735,5	827,0	9,43	27,92	2843	258,5	393,9	5,59	62,59	76,57	295,4	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 M	117	14600	1217	1419	9,89	45,31	5012	443,5	678,6	5,79	88,59	315,3	572,7	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 AA	47,4	5835	521,0	570,6	9,83	21,54	2077	173,1	264,4	5,87	49,10	22,98	239,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 240 A	60,3	7763	675,1	744,6	10,05	25,18	2769	230,7	351,7	6,00	56,10	41,55	328,5	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 240 B	83,2	11260	938,3	1053	10,31	33,23	3923	326,9	498,4	6,08	68,60	102,7	486,9	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 M	157	24290	1799	2117	11,03	60,07	8153	657,5	1006	6,39	106,6	627,9	1152	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓

♦ W<sub>pl</sub>: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.



## Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$  conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$  in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

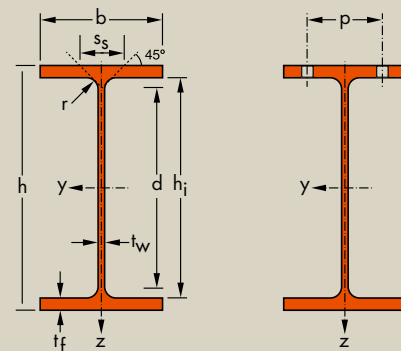
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$  gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
G	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	r	A		h <sub>i</sub>	d	Ø	p <sub>min</sub>	p <sub>max</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>		mm	mm		mm	mm	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

HE 260 AA *	54,1	244	260	6,5	9,5	24	69,0	225	177	M 27	110	158	1,474	27,22
HE 260 A	68,2	250	260	7,5	12,5	24	86,8	225	177	M 27	110	158	1,484	21,77
HE 260 B	93,0	260	260	10	17,5	24	118,4	225	177	M 27	114	158	1,499	16,12
HE 260 M	172	290	268	18	32,5	24	219,6	225	177	M 27	122	166	1,575	9,133
HE 280 AA *	61,2	264	280	7	10	24	78,0	244	196	M 27	110	178	1,593	26,01
HE 280 A	76,4	270	280	8	13	24	97,3	244	196	M 27	112	178	1,603	20,99
HE 280 B	103	280	280	10,5	18	24	131,4	244	196	M 27	114	178	1,618	15,69
HE 280 M	189	310	288	18,5	33	24	240,2	244	196	M 27	122	186	1,694	8,984
HE 300 AA *	69,8	283	300	7,5	10,5	27	88,9	262	208	M 27	116	198	1,705	24,42
HE 300 A	88,3	290	300	8,5	14	27	112,5	262	208	M 27	118	198	1,717	19,43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	149,1	262	208	M 27	120	198	1,732	14,80
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303,1	262	208	M 27	132	208	1,832	7,699
HE 320 AA *	74,2	301	300	8	11	27	94,6	279	225	M 27	118	198	1,740	23,43
HE 320 A	97,6	310	300	9	15,5	27	124,4	279	225	M 27	118	198	1,756	17,98
HE 320 B	127	320	300	11,5	20,5	27	161,3	279	225	M 27	122	198	1,771	13,98
HE 320 M	245	359	309	21	40	27	312,0	279	225	M 27	132	204	1,866	7,616
HE 340 AA *	78,9	320	300	8,5	11,5	27	100,5	297	243	M 27	118	198	1,777	22,52
HE 340 A	105	330	300	9,5	16,5	27	133,5	297	243	M 27	118	198	1,795	17,13
HE 340 B	134	340	300	12	21,5	27	170,9	297	243	M 27	122	198	1,810	13,49
HE 340 M	248	377	309	21	40	27	315,8	297	243	M 27	132	204	1,902	7,670
HE 360 AA *	83,7	339	300	9	12	27	106,6	315	261	M 27	118	198	1,814	21,67
HE 360 A	112	350	300	10	17,5	27	142,8	315	261	M 27	120	198	1,834	16,36
HE 360 B	142	360	300	12,5	22,5	27	180,6	315	261	M 27	122	198	1,849	13,04
HE 360 M	250	395	308	21	40	27	318,8	315	261	M 27	132	204	1,934	7,730
HE 400 AA *	92,4	378	300	9,5	13	27	117,7	352	298	M 27	118	198	1,891	20,46
HE 400 A	125	390	300	11	19	27	159,0	352	298	M 27	120	198	1,912	15,32
HE 400 B	155	400	300	13,5	24	27	197,8	352	298	M 27	124	198	1,927	12,41
HE 400 M	256	432	307	21	40	27	325,8	352	298	M 27	132	202	2,004	7,835
HE 450 AA *	99,7	425	300	10	13,5	27	127,1	398	344	M 27	120	198	1,984	19,89
HE 450 A	140	440	300	11,5	21	27	178,0	398	344	M 27	122	198	2,011	14,39
HE 450 B	171	450	300	14	26	27	218,0	398	344	M 27	124	198	2,026	11,84
HE 450 M	263	478	307	21	40	27	335,4	398	344	M 27	132	202	2,096	7,959

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z				Pure bending y-y			Pure compression								
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>vz</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	S <sub>s</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 260 AA	54,1	7981	654,1	714,5	10,76	24,75	2788	214,5	327,7	6,36	53,62	30,31	382,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 260 A	68,2	10450	836,4	919,8	10,97	28,76	3668	282,1	430,2	6,50	60,62	52,37	516,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 260 B	93,0	14920	1148	1283	11,22	37,59	5135	395,0	602,2	6,58	73,12	123,8	753,7	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 260 M	172	31310	2159	2524	11,94	66,89	10450	779,7	1192	6,90	111,1	719,0	1728	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 AA	61,2	10560	799,8	873,1	11,63	27,52	3664	261,7	399,4	6,85	55,12	36,22	590,1	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 280 A	76,4	13670	1013	1112	11,86	31,74	4763	340,2	518,1	7,00	62,12	62,10	785,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12,11	41,09	6595	471,0	717,6	7,09	74,62	143,7	1130	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 M	189	39550	2551	2966	12,83	72,03	13160	914,1	1397	7,40	112,6	807,3	2520	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 AA	69,8	13800	975,6	1065	12,46	32,37	4734	315,6	482,3	7,30	60,13	49,35	877,2	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 300 A	88,3	18260	1260	1383	12,74	37,28	6310	420,6	641,2	7,49	68,13	85,17	1200	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 300 B	117	25170	1678	1869	12,99	47,43	8563	570,9	870,1	7,58	80,63	185,0	1688	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 M	238	59200	3482	4078	13,98	90,53	19400	1252	1913	8,00	130,6	1408	4386	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 AA	74,2	16450	1093	1196	13,19	35,40	4959	330,6	505,7	7,24	61,63	55,87	1041	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 320 A	97,6	22930	1479	1628	13,58	41,13	6985	465,7	709,7	7,49	71,63	108,0	1512	1	2	3	1	2	3	✓	HI	HI
HE 320 B	127	30820	1926	2149	13,82	51,77	9239	615,9	939,1	7,57	84,13	225,1	2069	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 M	245	68130	3796	4435	14,78	94,85	19710	1276	1951	7,95	132,6	1501	5004	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 340 AA	78,9	19550	1222	1341	13,95	38,69	5185	345,6	529,3	7,18	63,13	63,07	1231	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 340 A	105	27690	1678	1850	14,40	44,95	7436	495,7	755,9	7,46	74,13	127,2	1824	1	1	3	1	1	3	✓	HI	HI
HE 340 B	134	36660	2156	2408	14,65	56,09	9690	646,0	985,7	7,53	86,63	257,2	2454	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 340 M	248	76370	4052	4718	15,55	98,63	19710	1276	1953	7,90	132,6	1506	5584	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 360 AA	83,7	23040	1359	1495	14,70	42,17	5410	360,7	553,0	7,12	64,63	70,99	1444	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 360 A	112	33090	1891	2088	15,22	48,96	7887	525,8	802,3	7,43	76,63	148,8	2177	1	1	2	1	1	2	✓	HI	HI
HE 360 B	142	43190	2400	2683	15,46	60,60	10140	676,1	1032	7,49	89,13	292,5	2883	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 360 M	250	84870	4297	4989	16,32	102,4	19520	1268	1942	7,83	132,6	1507	6137	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 400 AA	92,4	31250	1654	1824	16,30	47,95	5861	390,8	599,7	7,06	67,13	84,69	1948	2	3	3	2	3	4	✓	✓	✓
HE 400 A	125	45070	2311	2562	16,84	57,33	8564	570,9	872,9	7,34	80,63	189,0	2942	1	1	1	1	2	2	✓	HI	HI
HE 400 B	155	57680	2884	3232	17,08	69,98	10820	721,3	1104	7,40	93,13	355,7	3817	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 400 M	256	104100	4820	5571	17,88	110,2	19340	1260	1934	7,70	132,6	1515	7410	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 450 AA	99,7	41890	1971	2183	18,16	54,70	6088	405,8	624,4	6,92	68,63	95,61	2572	1	3	3	2	4	4	✓	✓	✓
HE 450 A	140	63720	2896	3216	18,92	65,78	9465	631,0	965,5	7,29	85,13	243,8	4148	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 450 B	171	79890	3551	3982	19,14	79,66	11720	781,4	1198	7,33	97,63	440,5	5258	1	1	1	1	1	2	✓	HI	HI
HE 450 M	263	131500	5501	6331	19,80	119,8	19340	1260	1939	7,59	132,6	1529	9251	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

♦ W<sub>pl</sub>: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

## Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$  conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$  in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

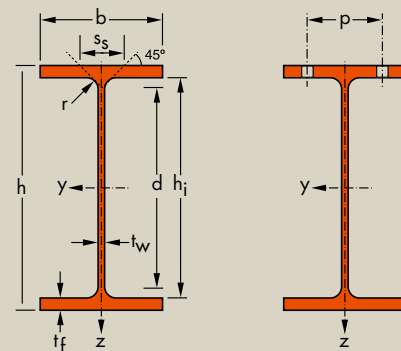
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$  gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
G	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	r	A	h <sub>i</sub>	d	Ø	p <sub>min</sub>	p <sub>max</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm	mm		mm	mm	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

HE 500 AA *	107	472	300	10,5	14	27	136,9	444	390	M 27	120	198	2,077	19,33
HE 500 A	155	490	300	12	23	27	197,5	444	390	M 27	122	198	2,110	13,60
HE 500 B	187	500	300	14,5	28	27	238,6	444	390	M 27	124	198	2,125	11,34
HE 500 M	270	524	306	21	40	27	344,3	444	390	M 27	132	202	2,184	8,079
HE 550 AA *	120	522	300	11,5	15	27	152,8	492	438	M 27	122	198	2,175	18,13
HE 550 A	166	540	300	12,5	24	27	211,8	492	438	M 27	122	198	2,209	13,29
HE 550 B	199	550	300	15	29	27	254,1	492	438	M 27	124	198	2,224	11,15
HE 550 M	278	572	306	21	40	27	354,4	492	438	M 27	132	202	2,280	8,195
HE 600 AA *	129	571	300	12	15,5	27	164,1	540	486	M 27	122	198	2,272	17,64
HE 600 A	178	590	300	13	25	27	226,5	540	486	M 27	122	198	2,308	12,98
HE 600 B	212	600	300	15,5	30	27	270,0	540	486	M 27	126	198	2,323	10,96
HE 600 M	285	620	305	21	40	27	363,7	540	486	M 27	132	200	2,372	8,308
HE 600 x 337 *	337	632	310	25,5	46	27	429,2	540	486	M 27	138	202	2,407	7,144
HE 600 x 399 *	399	648	315	30	54	27	508,5	540	486	M 27	142	208	2,450	6,137
HE 650 AA *	138	620	300	12,5	16	27	175,8	588	534	M 27	122	198	2,369	17,17
HE 650 A	190	640	300	13,5	26	27	241,6	588	534	M 27	124	198	2,407	12,69
HE 650 B	225	650	300	16	31	27	286,3	588	534	M 27	126	198	2,422	10,77
HE 650 M	293	668	305	21	40	27	373,7	588	534	M 27	132	200	2,468	8,411
HE 650 x 343 *	343	680	309	25	46	27	437,5	588	534	M 27	138	202	2,500	7,278
HE 650 x 407 *	407	696	314	29,5	54	27	518,8	588	534	M 27	142	206	2,543	6,243
HE 700 AA *	150	670	300	13	17	27	190,9	636	582	M 27	122	198	2,468	16,46
HE 700 A	204	690	300	14,5	27	27	260,5	636	582	M 27	124	198	2,505	12,25
HE 700 B	241	700	300	17	32	27	306,4	636	582	M 27	126	198	2,520	10,48
HE 700 M	301	716	304	21	40	27	383,0	636	582	M 27	132	200	2,560	8,513
HE 700 x 352 *	352	728	308	25	46	27	448,6	636	582	M 27	138	200	2,592	7,359
HE 700 x 418 *	418	744	313	29,5	54	27	531,9	636	582	M 27	142	206	2,635	6,310
HE 800 AA *	172	770	300	14	18	30	218,5	734	674	M 27	130	198	2,660	15,51
HE 800 A	224	790	300	15	28	30	285,8	734	674	M 27	130	198	2,698	12,03
HE 800 B	262	800	300	17,5	33	30	334,2	734	674	M 27	134	198	2,713	10,34
HE 800 M	317	814	303	21	40	30	404,3	734	674	M 27	138	198	2,746	8,655
HE 800 x 373 *	373	826	308	25	46	30	474,6	734	674	M 27	144	200	2,782	7,469
HE 800 x 444 *	444	842	313	30	54	30	566,0	734	674	M 27	148	206	2,824	6,357

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte													Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z							Pure bending y-y			Pure compression					
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>vz</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	S <sub>s</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>	S235	S355	S460	S235	S355	S460			
HE 500 AA	107	54640	2315	2576	19,98	61,91	6314	420,9	649,3	6,79	70,13	107,7	3304	1	3	3	2	4	4	✓	✓	✓
HE 500 A	155	86970	3550	3949	20,98	74,72	10370	691,1	1059	7,24	89,63	309,3	5643	1	1	1	1	3	4	✓	HI	HI
HE 500 B	187	107200	4287	4815	21,19	89,82	12620	841,6	1292	7,27	102,1	538,4	7018	1	1	1	1	2	2	✓	HI	HI
HE 500 M	270	161900	6180	7094	21,69	129,5	19150	1252	1932	7,46	132,6	1539	11190	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 550 AA	120	72870	2792	3128	21,84	72,66	6767	451,1	698,6	6,65	73,13	133,7	4338	1	2	3	3	4	4	✓	✓	✓
HE 550 A	166	111900	4146	4622	22,99	83,72	10820	721,3	1107	7,15	92,13	351,5	7189	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 550 B	199	136700	4971	5591	23,20	100,1	13080	871,8	1341	7,17	104,6	600,3	8856	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 550 M	278	198000	6923	7933	23,64	139,6	19160	1252	1937	7,35	132,6	1554	13520	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 600 AA	129	91900	3218	3623	23,66	81,29	6993	466,2	724,5	6,53	74,63	149,8	5381	1	2	3	3	4	4	✓	✓	✓
HE 600 A	178	141200	4787	5350	24,97	93,21	11270	751,4	1156	7,05	94,63	397,8	8978	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 600 B	212	171000	5701	6425	25,17	110,8	13530	902,0	1391	7,08	107,1	667,2	10970	1	1	1	1	3	4	✓	HI	HI
HE 600 M	285	237400	7660	8772	25,55	149,7	18980	1244	1930	7,22	132,6	1564	15910	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 600 x 337	337	283200	8961	10380	25,69	180,5	22940	1480	2310	7,31	149,1	2451	19610	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 600 x 399	399	344600	10640	12460	26,03	213,6	28280	1796	2814	7,46	169,6	3966	24810	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 650 AA	138	113900	3676	4160	25,46	90,40	7221	481,4	750,7	6,41	76,13	167,5	6567	1	1	3	4	4	4	✓	✓	✓
HE 650 A	190	175200	5474	6136	26,93	103,2	11720	781,6	1205	6,97	97,13	448,3	11030	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 650 B	225	210600	6480	7320	27,12	122,0	13980	932,3	1441	6,99	109,6	739,2	13360	1	1	1	2	3	4	✓	HI	HI
HE 650 M	293	281700	8433	9657	27,45	159,7	18980	1245	1936	7,13	132,6	1579	18650	1	1	1	1	1	2	✓	HI	HI
HE 650 x 343	343	333700	9815	11350	27,62	189,6	22720	1470	2300	7,21	148,6	2442	22730	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 650 x 407	407	405400	11650	13620	27,95	224,8	28020	1785	2803	7,35	169,1	3958	28710	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 700 AA	150	142700	4260	4840	27,34	100,3	7673	511,5	799,7	6,34	78,63	195,2	8155	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
HE 700 A	204	215300	6241	7032	28,75	117,0	12180	811,9	1257	6,84	100,1	513,9	13350	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 700 B	241	256900	7340	8327	28,96	137,1	14440	962,7	1495	6,87	112,6	830,9	16060	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 700 M	301	329300	9198	10540	29,32	169,8	18800	1240	1929	7,01	132,6	1589	21400	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 700 x 352	352	389700	10710	12390	29,47	201,6	22510	1461	2293	7,08	148,6	2461	26050	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 700 x 418	418	472500	12700	14840	29,80	239,0	27760	1774	2797	7,22	169,1	3989	32850	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 800 AA	172	208900	5426	6225	30,92	123,8	8134	542,2	856,6	6,10	85,15	256,8	11450	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
HE 800 A	224	303400	7682	8699	32,58	138,8	12640	842,6	1312	6,65	106,1	596,9	18290	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HE 800 B	262	359100	8977	10230	32,78	161,8	14900	993,6	1553	6,68	118,6	946,0	21840	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 800 M	317	442600	10870	12490	33,09	194,3	18630	1230	1930	6,79	136,1	1646	27780	1	1	1	1	3	4	✓	HI	HI
HE 800 x 373	373	523900	12690	14700	33,23	230,3	22530	1463	2311	6,89	152,1	2554	34070	1	1	1	1	2	2	✓	HI	
HE 800 x 444	444	634500	15070	17640	33,48	276,5	27800	1776	2827	7,01	173,1	4180	42840	1	1	1	1	1	1	✓	HI	

HI = HISTAR®

♦ W<sub>pl</sub>: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.

♦ W<sub>pl</sub>: bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

## Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$  conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993

HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec  $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$  in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993

HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with  $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$  gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

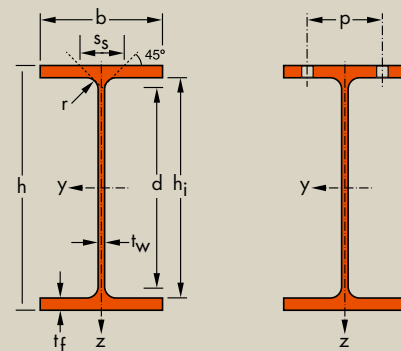
HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993

HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit  $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G	Dimensions Abmessungen					A	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
		h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r		h <sub>i</sub>	d	Ø	p <sub>min</sub>	p <sub>max</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm	mm		mm	mm	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t
HE 900 AA *	198	870	300	15	20	30	252,2	830	770	M 27	130	198	2,858	14,44
HE 900 A	252	890	300	16	30	30	320,5	830	770	M 27	132	198	2,896	11,51
HE 900 B	291	900	300	18,5	35	30	371,3	830	770	M 27	134	198	2,911	9,99
HE 900 M	333	910	302	21	40	30	423,6	830	770	M 27	138	198	2,934	8,824
HE 900 x 391 *	391	922	307	25	46	30	497,7	830	770	M 27	144	200	2,970	7,604
HE 900 x 466 *	466	938	312	30	54	30	593,7	830	770	M 27	148	204	3,012	6,464
HE 1000 AA *	222	970	300	16	21	30	282,2	928	868	M 27	132	198	3,056	13,80
HE 1000 x 249 *	249	980	300	16,5	26	30	316,8	928	868	M 27	134	194	3,080	12,37
HE 1000 A	272	990	300	16,5	31	30	346,8	928	868	M 27	132	198	3,095	11,37
HE 1000 B	314	1000	300	19	36	30	400,0	928	868	M 27	134	198	3,110	9,905
HE 1000 M	349	1008	302	21	40	30	444,2	928	868	M 27	138	198	3,130	8,978
HE 1000 x 393 *	393	1016	303	24,4	43,9	30	500,2	928	868	M 27	142	198	3,140	8,010
HE 1000 x 415 *	415	1020	304	26	46	30	528,7	928	868	M 27	144	198	3,150	7,600
HE 1000 x 438 *	438	1026	305	26,9	49	30	556,0	928	868	M 27	146	198	3,170	7,250
HE 1000 x 494 *	494	1036	309	31	54	30	629,1	928	868	M 27	148	204	3,190	6,470
HE 1000 x 584 *	584	1056	314	36	64	30	743,7	928	868	M 27	154	208	3,240	5,560

## Poutrelles européennes à très larges ailes

Dimensions: AM Standard

Tolérances: EN 10034: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## European extra wide flange beams

Dimensions: AM Standard

Tolerances: EN 10034: 1993

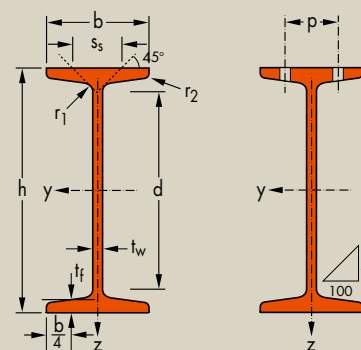
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Europäische Träger mit besonders breiten Flanschen

Abmessungen: AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche		
G kg/m	h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r <sub>1</sub> mm	r <sub>2</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	d mm	Ø	p <sub>min</sub> mm	p <sub>max</sub> mm	A <sub>L</sub> m <sup>2</sup> /m	A <sub>G</sub> m <sup>2</sup> /t	
HLZ 1100 A *	393,1	1075,4	458	20,0	31,0	35	–	500,8	935,9	M27	154	352	3,858	9,814
HLZ 1100 B *	407,5	1079,4	458	20,0	33,0	35	–	519,1	935,9	M27	154	352	3,866	9,486
HLZ 1100 C *	430,4	1083,4	459	21,0	35,0	35	–	548,3	935,9	M27	154	354	3,876	9,004
HLZ 1100 D *	453,3	1087,4	460	22,0	37,0	35	–	577,5	935,9	M27	156	354	3,886	8,572

\* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

\* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

\* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

HE

Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
		axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression					
		G	I <sub>y</sub>	W <sub>ely</sub>	W <sub>ply</sub> ◆	i <sub>y</sub>	A <sub>vz</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>elz</sub>	W <sub>plz</sub> ◆	i <sub>z</sub>	S <sub>s</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>w</sub>	S235	S355	S460	S235	S355			
kg/m	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	mm x10	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	mm x10	mm	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>										
HE 900 AA	198	301100	6923	7999	34,55	147,2	9041	602,8	957,7	5,99	90,15	334,9	16260	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
HE 900 A	252	422100	9485	10810	36,29	163,3	13550	903,2	1414	6,50	111,1	736,8	24960	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HE 900 B	291	494100	10980	12580	36,48	188,8	15820	1050	1658	6,53	123,6	1137	29460	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 900 M	333	570400	12540	14440	36,70	214,4	18450	1220	1929	6,60	136,1	1671	34750	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 900 x 391	391	674300	14630	16990	36,81	254,3	22320	1454	2312	6,70	152,1	2597	42560	1	1	1	1	2	4	✓	HI	
HE 900 x 466	466	814900	17380	20380	37,05	305,3	27560	1767	2832	6,81	173,1	4256	53400	1	1	1	1	1	2	✓	HI	
HE 1000 AA	222	406500	8380	9777	37,95	172,2	9501	633,4	1016	5,80	93,15	403,4	21280	1	1	-	4	4	-	✓		
HE 1000 x 249	249	481100	9818	11350	38,97	180,7	11750	784,0	1245	6,09	103,6	584,4	26620	1	1	2	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000 A	272	553800	11190	12820	39,96	184,6	14000	933,6	1470	6,35	113,6	822,4	32070	1	1	2	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000 B	314	644700	12890	14860	40,15	212,5	16280	1085	1716	6,38	126,1	1254	37640	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000 M	349	722300	14330	16570	40,32	235,0	18460	1222	1940	6,45	136,1	1701	43020	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 1000 x 393	393	807700	15900	18540	40,18	271,3	20500	1353	2168	6,40	147,3	2332	48080	1	1	1	2	4	4	✓	HI	
HE 1000 x 415	415	853100	16728	19571	40,17	288,6	21710	1428	2298	6,41	153,1	2713	51080	1	1	1	2	3	4	✓	HI	
HE 1000 x 438	438	909200	17720	20750	40,43	299,9	23360	1531	2463	6,48	160,0	3190	55290	1	1	1	1	3	4	✓	HI	
HE 1000 x 494	494	1028000	19845	23413	40,42	344,5	26820	1736	2818	6,53	174,1	4433	64010	1	1	1	1	2	3	✓	HI	
HE 1000 x 584	584	1246100	23600	28039	40,93	403,2	33430	2130	3475	6,70	199,1	7230	81240	1	1	1	1	1	2	✓	HI	

HI = HISTAR®

HLZ

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte													Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z							Pure bending y-y			Pure compression					
	G  kg/m	I <sub>y</sub>  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,y</sub>  mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> ◆  mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub>  mm x10	A <sub>vz</sub>  mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub>  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub>  mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> ◆  mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub>  mm x10	S <sub>s</sub>  mm	I <sub>t</sub>  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>w</sub>  mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>	S235	S355	S460	S235	S355	S460			
														1	1	1	4	4	4			
HLZ 1100 A	393,1	983100	18280	20670	44,30	241,2	47950	2094	3308	9,78	130,4	1598	122000	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HLZ 1100 B	407,5	1036000	19200	21650	44,68	242,9	51150	2234	3517	9,93	134,4	1750	131200	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HLZ 1100 C	430,4	1100000	20310	22940	44,80	255,0	54730	2385	3784	9,99	139,4	2051	141300	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HLZ 1100 D	453,3	1165000	21430	24230	44,92	267,2	58350	2537	3993	10,05	144,4	2384	151700	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI

◆ W<sub>pl,z</sub>: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.◆ W<sub>pl,z</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.◆ W<sub>pl,z</sub>: Wpl: bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

## Cornières à ailes égales▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

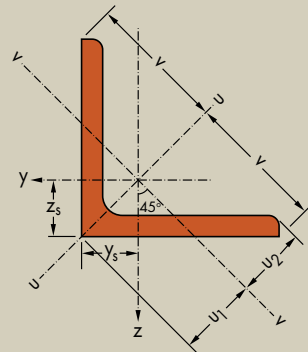
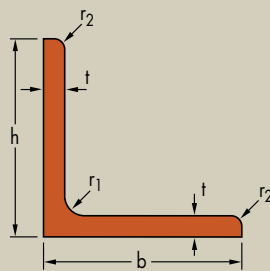
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen				Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>	
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t	
L 20 x 20 x 3 <sup>-/*</sup>	0,882	20	3	3,5	1,12	0,596	1,41	0,843	0,700	0,077	87,40
L 25 x 25 x 3 <sup>-/*</sup>	1,12	25	3	3,5	1,42	0,721	1,77	1,02	0,877	0,097	86,88
L 25 x 25 x 4 <sup>-/*</sup>	1,45	25	4	3,5	1,85	0,761	1,77	1,08	0,892	0,097	66,67
L 30 x 30 x 3 <sup>-/*</sup>	1,36	30	3	5	1,74	0,835	2,12	1,18	1,05	0,116	84,87
L 30 x 30 x 4 <sup>-/*</sup>	1,78	30	4	5	2,27	0,878	2,12	1,24	1,06	0,116	65,02
L 35 x 35 x 4 <sup>-/*</sup>	2,09	35	4	5	2,67	1,00	2,47	1,42	1,24	0,136	64,82
L 35 x 35 x 5 <sup>-/*</sup>	2,57	35	5	5	3,28	1,04	2,47	1,48	1,25	0,136	52,76
L 40 x 40 x 4 <sup>-▲</sup>	2,42	40	4	6	3,08	1,12	2,83	1,58	1,40	0,155	64,07
L 40 x 40 x 5 <sup>-▲</sup>	2,97	40	5	6	3,79	1,16	2,83	1,64	1,41	0,155	52,07
L 40 x 40 x 6 <sup>-▲/*</sup>	3,52	40	6	6	4,48	1,20	2,83	1,70	1,43	0,155	44,04
L 45 x 45 x 3 <sup>▶</sup>	2,09	45	3	7	2,66	1,18	3,18	1,67	1,57	0,174	83,24
L 45 x 45 x 4 <sup>*/◄</sup>	2,74	45	4	7	3,49	1,23	3,18	1,75	1,57	0,174	63,46
L 45 x 45 x 4,5 <sup>*/-▲</sup>	3,06	45	4,5	7	3,90	1,26	3,18	1,78	1,58	0,174	56,83
L 45 x 45 x 5 <sup>*/◄</sup>	3,38	45	5	7	4,30	1,28	3,18	1,81	1,58	0,174	51,51
L 45 x 45 x 6 <sup>*</sup>	4,00	45	6	7	5,09	1,32	3,18	1,87	1,59	0,174	43,52
L 45 x 45 x 7 <sup>*</sup>	4,60	45	7	7	5,86	1,36	3,18	1,92	1,61	0,174	37,81
L 50 x 50 x 4 <sup>-▲</sup>	3,06	50	4	7	3,89	1,36	3,54	1,92	1,75	0,194	63,49
L 50 x 50 x 5 <sup>-▲</sup>	3,77	50	5	7	4,80	1,40	3,54	1,99	1,76	0,194	51,46
L 50 x 50 x 6 <sup>-▲</sup>	4,47	50	6	7	5,69	1,45	3,54	2,04	1,77	0,194	43,41
L 50 x 50 x 7 <sup>*/◄</sup>	5,15	50	7	7	6,56	1,49	3,54	2,10	1,78	0,194	37,66
L 50 x 50 x 8	5,82	50	8	7	7,41	1,52	3,54	2,16	1,80	0,194	33,34
L 50 x 50 x 9 <sup>*</sup>	6,47	50	9	7	8,24	1,56	3,54	2,21	1,82	0,194	29,98
L 55 x 55 x 4 <sup>*</sup>	3,38	55	4	8	4,31	1,47	3,89	2,08	1,92	0,213	63,01
L 55 x 55 x 5 <sup>*/▶</sup>	4,18	55	5	8	5,32	1,52	3,89	2,15	1,93	0,213	51,05
L 55 x 55 x 6	4,95	55	6	8	6,31	1,56	3,89	2,21	1,94	0,213	43,04
L 60 x 60 x 4	3,70	60	4	8	4,71	1,60	4,24	2,26	2,10	0,233	63,07
L 60 x 60 x 5 <sup>-▲</sup>	4,57	60	5	8	5,82	1,64	4,24	2,32	2,11	0,233	51,04
L 60 x 60 x 6 <sup>-▲</sup>	5,42	60	6	8	6,91	1,69	4,24	2,39	2,11	0,233	42,99

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*									Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v			Pure compression					
	G kg/m	I <sub>y</sub> = I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> = W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> = i <sub>z</sub> mm x10	I <sub>u</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>u</sub> mm x10	I <sub>v</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>		i <sub>v</sub> mm x10	I <sub>yz</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	S235			
L 20 x 20 x 3	0,882	0,388	0,276	0,589	0,614	0,740	0,162	0,380	-0,226	1	1	✓		
L 25 x 25 x 3	1,12	0,796	0,448	0,749	1,26	0,944	0,329	0,481	-0,467	1	1	✓		
L 25 x 25 x 4	1,45	1,01	0,582	0,740	1,60	0,930	0,425	0,479	-0,587	1	1	✓		
L 30 x 30 x 3	1,36	1,40	0,649	0,899	2,23	1,13	0,579	0,578	-0,825	1	4	✓		
L 30 x 30 x 4	1,78	1,80	0,850	0,892	2,86	1,12	0,749	0,575	-1,05	1	1	✓		
L 35 x 35 x 4	2,09	2,95	1,18	1,05	4,69	1,33	1,22	0,68	-1,73	1	1	✓		
L 35 x 35 x 5	2,57	3,56	1,45	1,04	5,64	1,31	1,49	0,67	-2,08	1	1	✓		
L 40 x 40 x 4	2,42	4,47	1,55	1,21	7,10	1,52	1,84	0,77	-2,63	1	4	✓		
L 40 x 40 x 5	2,97	5,43	1,91	1,20	8,61	1,51	2,25	0,77	-3,18	1	1	✓		
L 40 x 40 x 6	3,52	6,31	2,26	1,19	9,99	1,49	2,64	0,77	-3,67	1	1	✓		
L 45 x 45 x 3	2,09	4,93	1,49	1,36	7,81	1,71	2,04	0,88	-2,88	4	4	✓		
L 45 x 45 x 4	2,74	6,43	1,97	1,36	10,21	1,71	2,65	0,87	-3,78	1	4	✓		
L 45 x 45 x 4,5	3,06	7,15	2,20	1,35	11,35	1,71	2,95	0,87	-4,20	1	4	✓		
L 45 x 45 x 5	3,38	7,84	2,43	1,35	12,45	1,70	3,24	0,87	-4,60	1	1	✓		
L 45 x 45 x 6	4,00	9,16	2,88	1,34	14,52	1,69	3,81	0,86	-5,36	1	1	✓		
L 45 x 45 x 7	4,60	10,40	3,31	1,33	16,44	1,67	4,36	0,86	-6,04	1	1	✓		
L 50 x 50 x 4	3,06	8,97	2,46	1,52	14,25	1,91	3,70	0,97	-5,28	4	4	✓		
L 50 x 50 x 5	3,77	10,96	3,05	1,51	17,41	1,90	4,52	0,97	-6,45	1	4	✓		
L 50 x 50 x 6	4,47	12,84	3,61	1,50	20,37	1,89	5,31	0,97	-7,53	1	1	✓		
L 50 x 50 x 7	5,15	14,61	4,16	1,49	23,14	1,88	6,09	0,96	-8,52	1	1	✓		
L 50 x 50 x 8	5,82	16,28	4,68	1,48	25,71	1,86	6,85	0,96	-9,43	1	1	✓		
L 50 x 50 x 9	6,47	17,86	5,20	1,47	28,11	1,85	7,61	0,96	-10,25	1	1	✓		
L 55 x 55 x 4	3,38	12,00	2,98	1,67	19,05	2,10	4,95	1,07	-7,05	4	4	✓		
L 55 x 55 x 5	4,18	14,71	3,70	1,66	23,37	2,10	6,06	1,07	-8,66	1	4	✓		
L 55 x 55 x 6	4,95	17,29	4,39	1,66	27,44	2,09	7,13	1,06	-10,16	1	1	✓		
L 60 x 60 x 4	3,70	15,78	3,58	1,83	25,04	2,31	6,51	1,18	-9,26	4	4	✓		
L 60 x 60 x 5	4,57	19,37	4,45	1,82	30,77	2,30	7,97	1,17	-11,40	4	4	✓		
L 60 x 60 x 6	5,42	22,79	5,29	1,82	36,20	2,29	9,38	1,17	-13,41	1	4	✓		

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$



## Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

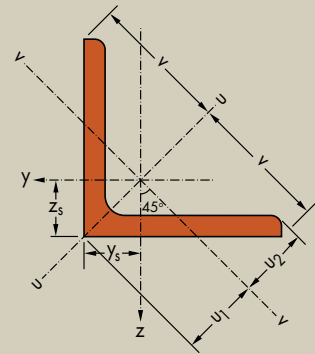
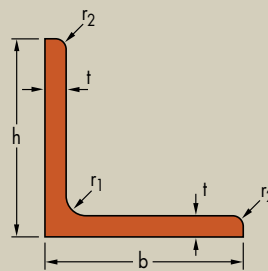
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen				Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

L 60 x 60 x 7*	6,26	60	7	8	7,98	1,73	4,24	2,45	2,13	0,233	37,22
L 60 x 60 x 8 <sup>*/▲</sup>	7,09	60	8	8	9,03	1,77	4,24	2,50	2,14	0,233	32,89
L 60 x 60 x 10*	8,69	60	10	8	11,1	1,85	4,24	2,61	2,17	0,233	26,83
L 63 x 63 x 5*	4,82	63	5	9	6,14	1,71	4,45	2,42	2,21	0,244	50,71
L 63 x 63 x 6*	5,72	63	6	9	7,29	1,75	4,45	2,48	2,21	0,244	42,70
L 63 x 63 x 6,5*	6,17	63	6,5	9	7,85	1,78	4,45	2,51	2,22	0,244	39,62
L 65 x 65 x 4*	4,02	65	4	9	5,13	1,71	4,60	2,41	2,28	0,252	62,68
L 65 x 65 x 5*	4,97	65	5	9	6,34	1,76	4,60	2,49	2,28	0,252	50,71
L 65 x 65 x 6 <sup>*/►</sup>	5,91	65	6	9	7,53	1,80	4,60	2,55	2,28	0,252	42,70
L 65 x 65 x 7 <sup>*/►</sup>	6,83	65	7	9	8,70	1,85	4,60	2,61	2,29	0,252	36,95
L 65 x 65 x 8 <sup>*/►</sup>	7,73	65	8	9	9,85	1,89	4,60	2,67	2,31	0,252	32,64
L 65 x 65 x 9*	8,62	65	9	9	11,0	1,93	4,60	2,73	2,32	0,252	29,28
L 65 x 65 x 10*	9,49	65	10	9	12,1	1,97	4,60	2,78	2,34	0,252	26,59
L 65 x 65 x 11*	10,3	65	11	9	13,2	2,00	4,60	2,83	2,35	0,252	24,39
L 70 x 70 x 5	5,37	70	5	9	6,84	1,88	4,95	2,66	2,46	0,272	50,73
L 70 x 70 x 6 <sup>˘</sup>	6,38	70	6	9	8,13	1,93	4,95	2,73	2,46	0,272	42,68
L 70 x 70 x 7 <sup>˘</sup>	7,38	70	7	9	9,40	1,97	4,95	2,79	2,47	0,272	36,91
L 70 x 70 x 8 <sup>►</sup>	8,37	70	8	10	10,7	2,01	4,95	2,84	2,47	0,271	32,41
L 70 x 70 x 9 <sup>◄</sup>	9,32	70	9	9	11,9	2,05	4,95	2,90	2,50	0,272	29,20
L 70 x 70 x 10*	10,3	70	10	9	13,1	2,09	4,95	2,96	2,51	0,272	26,50
L 75 x 75 x 4 <sup>*</sup>	4,65	75	4	9	5,93	1,96	5,30	2,76	2,63	0,292	62,82
L 75 x 75 x 5 <sup>*</sup>	5,76	75	5	9	7,34	2,01	5,30	2,84	2,63	0,292	50,75
L 75 x 75 x 6 <sup>˘/*</sup>	6,85	75	6	9	8,73	2,05	5,30	2,90	2,64	0,292	42,66
L 75 x 75 x 7 <sup>*</sup>	7,93	75	7	9	10,1	2,10	5,30	2,96	2,65	0,292	36,88
L 75 x 75 x 8 <sup>˘</sup>	8,99	75	8	9	11,4	2,14	5,30	3,02	2,66	0,292	32,53
L 75 x 75 x 9*	10,0	75	9	9	12,8	2,18	5,30	3,08	2,67	0,292	29,14
L 75 x 75 x 10*	11,1	75	10	9	14,1	2,22	5,30	3,13	2,69	0,292	26,43

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

► Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

► Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*								Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
		axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v			Pure compression				
		$I_y = I_z$  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$W_{ely} = W_{elz}$  mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	$i_y = i_z$  mm x10	$I_u$  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$i_u$  mm x10	$I_v$  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$i_v$  mm x10		$I_{yz}$  mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	S235			
L 60 x 60 x 7	6,26	26,05	6,10	1,81	41,34	2,28	10,76	1,16	-15,23	1	1	✓		
L 60 x 60 x 8	7,09	29,15	6,89	1,80	46,19	2,26	12,11	1,16	-17,04	1	1	✓		
L 60 x 60 x 10	8,69	34,93	8,41	1,78	55,10	2,23	14,76	1,15	-20,17	1	1	✓		
L63 x 63 x 5	4,82	22,42	4,88	1,91	35,61	2,41	9,24	1,23	-13,18	4	4	✓		
L63 x 63 x 6	5,72	26,44	5,82	1,90	41,99	2,40	10,89	1,22	-15,55	1	4	✓		
L63 x 63 x 6,5	6,17	28,37	6,27	1,90	45,06	2,40	11,69	1,22	-16,68	1	4	✓		
L 65 x 65 x 4	4,02	20,09	4,19	1,98	31,86	2,49	8,32	1,27	-11,77	4	4	✓		
L 65 x 65 x 5	4,97	24,74	5,22	1,98	39,29	2,49	10,19	1,27	-14,55	4	4	✓		
L 65 x 65 x 6	5,91	29,19	6,21	1,97	46,36	2,48	12,01	1,26	-17,17	1	4	✓		
L 65 x 65 x 7	6,83	33,43	7,18	1,96	53,08	2,47	13,78	1,26	-19,65	1	1	✓		
L 65 x 65 x 8	7,73	37,49	8,13	1,95	59,46	2,46	15,52	1,26	-21,97	1	1	✓		
L 65 x 65 x 9	8,62	41,37	9,05	1,94	65,52	2,44	17,22	1,25	-24,15	1	1	✓		
L 65 x 65 x 10	9,49	45,08	9,94	1,93	71,26	2,43	18,91	1,25	-26,17	1	1	✓		
L 65 x 65 x 11	10,3	48,64	10,82	1,92	76,69	2,41	20,58	1,25	-28,06	1	1	✓		
L 70 x 70 x 5	5,37	31,24	6,10	2,14	49,61	2,69	12,86	1,37	-18,37	4	4	✓		
L 70 x 70 x 6	6,38	36,88	7,27	2,13	58,60	2,69	15,16	1,37	-21,72	4	4	✓		
L 70 x 70 x 7	7,38	42,30	8,41	2,12	67,19	2,67	17,41	1,36	-24,89	1	4	✓		
L 70 x 70 x 8	8,37	47,27	9,46	2,10	75,01	2,65	19,52	1,35	-27,75	1	1	✓		
L 70 x 70 x 9	9,32	52,47	10,60	2,10	83,18	2,65	21,76	1,35	-30,71	1	1	✓		
L 70 x 70 x 10	10,3	57,24	11,66	2,09	90,60	2,63	23,88	1,35	-33,36	1	1	✓		
L 75x75x4	4,65	31,43	5,67	2,30	49,85	2,90	13,01	1,48	-18,42	4	4	✓		
L 75x75x5	5,76	38,77	7,06	2,30	61,59	2,90	15,96	1,47	-22,82	4	4	✓		
L 75 x 75 x 6	6,85	45,83	8,41	2,29	72,84	2,89	18,82	1,47	-27,01	4	4	✓		
L 75 x 75 x 7	7,93	52,61	9,74	2,28	83,60	2,88	21,62	1,46	-30,99	1	4	✓		
L 75 x 75 x 8	8,99	59,13	11,03	2,27	93,91	2,86	24,35	1,46	-34,78	1	4	✓		
L 75 x 75 x 9	10,0	65,40	12,29	2,26	103,8	2,85	27,03	1,45	-38,36	1	1	✓		
L 75 x 75 x 10	11,1	71,43	13,52	2,25	113,2	2,83	29,68	1,45	-41,75	1	1	✓		

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

## Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

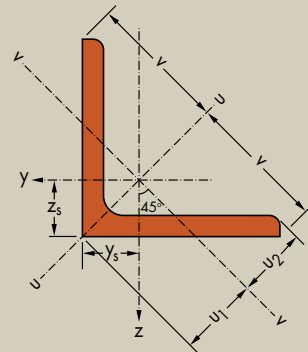
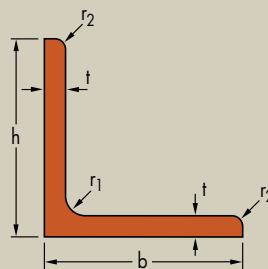
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen				Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

L 80 x 80 x 5 <sup>*</sup>	6,17	80	5	10	7,86	2,12	5,66	3,00	2,81	0,311	50,49
L 80 x 80 x 6 <sup>▲</sup>	7,34	80	6	10	9,35	2,17	5,66	3,07	2,81	0,311	42,44
L 80 x 80 x 7 <sup>*</sup>	8,49	80	7	10	10,8	2,21	5,66	3,13	2,82	0,311	36,67
L 80 x 80 x 8 <sup>▴</sup>	9,63	80	8	10	12,3	2,26	5,66	3,19	2,83	0,311	32,34
L 80 x 80 x 9 <sup>*</sup>	10,8	80	9	10	13,7	2,30	5,66	3,25	2,84	0,311	28,96
L 80 x 80 x 10 <sup>▴</sup> / <sup>*</sup>	11,9	80	10	10	15,1	2,34	5,66	3,30	2,85	0,311	26,26
L 90 x 90 x 5 <sup>*</sup>	6,97	90	5	11	8,88	2,35	6,36	3,33	3,16	0,351	50,29
L 90 x 90 x 6 <sup>▴</sup>	8,28	90	6	10	10,5	2,42	6,36	3,42	3,16	0,351	42,44
L 90 x 90 x 7 <sup>▴</sup>	9,61	90	7	11	12,2	2,45	6,36	3,47	3,16	0,351	36,48
L 90 x 90 x 8 <sup>▴</sup>	10,9	90	8	11	13,9	2,50	6,36	3,53	3,17	0,351	32,15
L 90 x 90 x 9 <sup>▴</sup>	12,2	90	9	11	15,5	2,54	6,36	3,59	3,18	0,351	28,77
L 90 x 90 x 10 <sup>▴</sup> / <sup>*</sup>	13,4	90	10	11	17,1	2,58	6,36	3,65	3,19	0,351	26,07
L 90 x 90 x 11 <sup>*</sup>	14,7	90	11	11	18,7	2,62	6,36	3,70	3,21	0,351	23,86
L 90 x 90 x 16	20,7	90	16	11	26,4	2,81	6,36	3,97	3,29	0,351	16,93
L 100 x 100 x 6 <sup>▴</sup>	9,26	100	6	12	11,8	2,64	7,07	3,74	3,51	0,390	42,09
L 100 x 100 x 7	10,7	100	7	12	13,7	2,69	7,07	3,81	3,51	0,390	36,33
L 100 x 100 x 8 <sup>▴</sup>	12,2	100	8	12	15,5	2,74	7,07	3,87	3,52	0,390	32,00
L 100 x 100 x 9	13,6	100	9	12	17,3	2,78	7,07	3,93	3,53	0,390	28,62
L 100 x 100 x 10 <sup>▴</sup>	15,0	100	10	12	19,2	2,82	7,07	3,99	3,54	0,390	25,92
L 100 x 100 x 11	16,4	100	11	12	20,9	2,86	7,07	4,05	3,55	0,390	23,70
L 100 x 100 x 12 <sup>▴</sup>	17,8	100	12	12	22,7	2,90	7,07	4,11	3,57	0,390	21,86
L 100 x 100 x 14 <sup>*</sup>	20,6	100	14	12	26,2	2,98	7,07	4,22	3,60	0,390	18,95
L 100 x 100 x 16	23,2	100	16	12	29,6	3,06	7,07	4,32	3,63	0,390	16,77
L 110 x 110 x 6	10,2	110	6	12	13,0	2,89	7,78	4,09	3,87	0,430	42,12
L 110 x 110 x 7	11,8	110	7	12	15,1	2,94	7,78	4,16	3,87	0,430	36,34
L 110 x 110 x 8 <sup>*</sup>	13,4	110	8	12	17,1	2,99	7,78	4,22	3,87	0,430	31,98
L 110 x 110 x 9	15,0	110	9	12	19,1	3,03	7,78	4,28	3,88	0,430	28,59
L 110 x 110 x 10 <sup>▴</sup>	16,6	110	10	13	21,2	3,06	7,78	4,33	3,88	0,429	25,79
L 110 x 110 x 11	18,2	110	11	13	23,2	3,11	7,78	4,39	3,89	0,429	23,58
L 110 x 110 x 12	19,7	110	12	13	25,1	3,15	7,78	4,45	3,91	0,429	21,73

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998.

▴ Profilé conforme à DIN 1028: 1994.

▴ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

▴ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▴ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

▴ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▴ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*								Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
		axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v			Pure compression					
		G kg/m	I <sub>y</sub> = I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> = W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> = i <sub>z</sub> mm x10	I <sub>u</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>u</sub> mm x10	I <sub>v</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>		i <sub>v</sub> mm x10	I <sub>yz</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	S235			
L 80 x 80 x 5	6,17	47,14	8,02	2,45	74,83	3,09	19,45	1,57	-27,69	4	4	-	✓		
L 80 x 80 x 6	7,34	55,82	9,57	2,44	88,69	3,08	22,96	1,57	-32,87	4	4	-	✓		
L 80 x 80 x 7	8,49	64,19	11,09	2,44	102,0	3,07	26,38	1,56	-37,81	1	4	-	✓		
L 80 x 80 x 8	9,63	72,25	12,58	2,43	114,8	3,06	29,72	1,56	-42,52	1	4	-	✓		
L 80 x 80 x 9	10,8	80,01	14,03	2,42	127,0	3,05	33,01	1,55	-47,01	1	1	-	✓		
L 80 x 80 x 10	11,9	87,50	15,45	2,41	138,8	3,03	36,24	1,55	-51,27	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 5	6,97	67,67	10,18	2,76	107,3	3,48	27,98	1,78	-39,68	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 6	8,28	80,72	12,26	2,77	128,3	3,49	33,16	1,77	-47,57	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 7	9,61	92,55	14,13	2,75	147,1	3,47	38,03	1,76	-54,52	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 8	10,9	104,4	16,05	2,74	165,9	3,46	42,89	1,76	-61,50	1	4	-	✓		
L 90 x 90 x 9	12,2	115,8	17,93	2,73	184,0	3,44	47,65	1,75	-68,19	1	4	-	✓		
L 90 x 90 x 10	13,4	126,9	19,77	2,72	201,5	3,43	52,33	1,75	-74,59	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 11	14,7	137,6	21,57	2,71	218,3	3,42	56,94	1,74	-80,70	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 16	20,7	186,4	30,11	2,66	293,5	3,34	79,40	1,74	-107,0	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 6	9,26	111,1	15,09	3,07	176,3	3,87	45,80	1,97	-65,25	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 7	10,7	128,2	17,54	3,06	203,7	3,86	52,72	1,96	-75,48	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 8	12,2	144,8	19,94	3,06	230,2	3,85	59,49	1,96	-85,35	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 9	13,6	161,0	22,30	3,05	255,9	3,84	66,13	1,95	-94,86	1	4	-	✓		
L 100 x 100 x 10	15,0	176,7	24,62	3,04	280,7	3,83	72,66	1,95	-104,0	1	4	-	✓		
L 100 x 100 x 11	16,4	191,9	26,89	3,03	304,7	3,81	79,09	1,94	-112,8	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 12	17,8	206,7	29,12	3,02	327,9	3,80	85,44	1,94	-121,3	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 14	20,6	235,0	33,48	3,00	372,1	3,77	97,92	1,93	-137,1	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 16	23,2	261,7	37,70	2,97	413,3	3,74	110,2	1,93	-151,5	1	1	-	✓		
L 110 x 110 x 6	10,2	149,5	18,43	3,39	237,3	4,27	61,60	2,18	-87,87	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 7	11,8	172,7	21,43	3,39	274,4	4,27	70,94	2,17	-101,7	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 8	13,4	195,3	24,37	3,38	310,5	4,26	80,11	2,16	-115,2	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 9	15,0	217,3	27,26	3,37	345,5	4,25	89,10	2,16	-128,2	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 10	16,6	238,0	29,99	3,35	378,2	4,23	97,74	2,15	-140,2	1	4	-	✓		
L 110 x 110 x 11	18,2	258,8	32,79	3,34	411,2	4,21	106,4	2,14	-152,4	1	4	-	✓		
L 110 x 110 x 12	19,7	279,1	35,54	3,33	443,2	4,20	115,0	2,14	-164,1	1	1	-	✓		

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

\* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

\* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

## Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

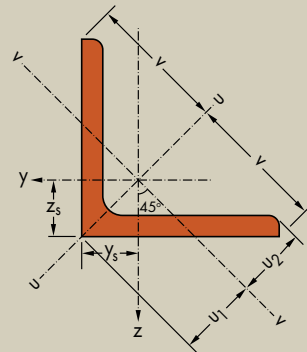
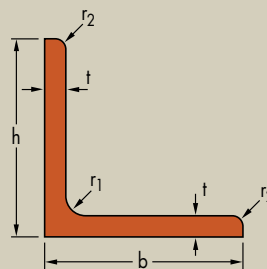
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen			Position des axes Position of axes Lage der Achsen					Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>	
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t	
L 120 x 120 x 7 <sup>x</sup>	12,9	120	7	13	16,5	3,18	8,49	4,49	4,22	0,469	36,22
L 120 x 120 x 8 <sup>►/x</sup>	14,7	120	8	13	18,7	3,23	8,49	4,56	4,22	0,469	31,87
L 120 x 120 x 9 <sup>x</sup>	16,5	120	9	13	21,0	3,27	8,49	4,62	4,23	0,469	28,48
L 120 x 120 x 10 <sup>-/x</sup>	18,2	120	10	13	23,2	3,31	8,49	4,69	4,24	0,469	25,76
L 120 x 120 x 11 <sup>◄/x</sup>	19,9	120	11	13	25,4	3,36	8,49	4,75	4,25	0,469	23,54
L 120 x 120 x 12 <sup>-/x</sup>	21,6	120	12	13	27,5	3,40	8,49	4,80	4,26	0,469	21,69
L 120 x 120 x 13 <sup>x</sup>	23,3	120	13	13	29,7	3,44	8,49	4,86	4,28	0,469	20,12
L 120 x 120 x 14	25,0	120	14	13	31,8	3,48	8,49	4,92	4,29	0,469	18,77
L 120 x 120 x 15 <sup>x</sup>	26,6	120	15	13	33,9	3,51	8,49	4,97	4,31	0,469	17,60
L 120 x 120 x 16 <sup>*/x</sup>	28,3	120	16	13	36,0	3,55	8,49	5,02	4,32	0,469	16,58
L 130 x 130 x 8	16,0	130	8	14	20,4	3,46	9,19	4,90	4,57	0,508	31,77
L 130 x 130 x 9 <sup>*</sup>	17,9	130	9	14	22,8	3,51	9,19	4,96	4,57	0,508	28,38
L 130 x 130 x 10	19,8	130	10	14	25,2	3,55	9,19	5,03	4,58	0,508	25,67
L 130 x 130 x 11	21,7	130	11	14	27,6	3,60	9,19	5,09	4,59	0,508	23,45
L 130 x 130 x 12 <sup>-</sup>	23,5	130	12	14	30,0	3,64	9,19	5,15	4,60	0,508	21,59
L 130 x 130 x 13	25,4	130	13	14	32,3	3,68	9,19	5,20	4,62	0,508	20,02
L 130 x 130 x 14 <sup>►</sup>	27,2	130	14	14	34,7	3,72	9,19	5,26	4,63	0,508	18,68
L 130 x 130 x 15	29,0	130	15	14	37,0	3,76	9,19	5,32	4,65	0,508	17,51
L 130 x 130 x 16 <sup>*</sup>	30,8	130	16	14	39,3	3,80	9,19	5,37	4,66	0,508	16,49
L 140 x 140 x 9	19,3	140	9	15	24,6	3,75	9,90	5,30	4,92	0,547	28,30
L 140 x 140 x 10 <sup>►</sup>	21,4	140	10	15	27,2	3,79	9,90	5,37	4,93	0,547	25,59
L 140 x 140 x 11	23,4	140	11	15	29,8	3,84	9,90	5,43	4,94	0,547	23,36
L 140 x 140 x 12 <sup>►</sup>	25,4	140	12	15	32,4	3,88	9,90	5,49	4,95	0,547	21,51
L 140 x 140 x 13 <sup>◄</sup>	27,5	140	13	15	35,0	3,92	9,90	5,55	4,96	0,547	19,94
L 140 x 140 x 14 <sup>►</sup>	29,4	140	14	15	37,5	3,96	9,90	5,61	4,97	0,547	18,60
L 140 x 140 x 15	31,4	140	15	15	40,0	4,00	9,90	5,66	4,99	0,547	17,43
L 140 x 140 x 16 <sup>*</sup>	33,3	140	16	15	42,5	4,04	9,90	5,72	5,00	0,547	16,41
L 150 x 150 x 10 <sup>+/-/x</sup>	23,0	150	10	16	29,3	4,03	10,61	5,71	5,28	0,586	25,51
L 150 x 150 x 12 <sup>+/-/x</sup>	27,3	150	12	16	34,8	4,12	10,61	5,83	5,29	0,586	21,44
L 150 x 150 x 13 <sup>+/x</sup>	29,5	150	13	16	37,6	4,17	10,61	5,89	5,30	0,586	19,87
L 150 x 150 x 14 <sup>+/-◄/x</sup>	31,6	150	14	16	40,3	4,21	10,61	5,95	5,32	0,586	18,53
L 150 x 150 x 15 <sup>+/-/x</sup>	33,8	150	15	16	43,0	4,25	10,61	6,01	5,33	0,586	17,36
L 150 x 150 x 16 <sup>+/x</sup>	35,9	150	16	16	45,7	4,29	10,61	6,06	5,34	0,586	16,34

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

► Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

► Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*							Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
		axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v		I <sub>yz</sub>	Pure compression					
		I <sub>y</sub> = I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> = W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> = I <sub>z</sub> mm x10	I <sub>u</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>u</sub> mm x10	I <sub>v</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>v</sub> mm x10		S235	S355				S460
G kg/m															
L 120 x 120 x 7	12,9	225,6	25,57	3,70	358,4	4,66	92,80	2,37	-132,8	4	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 8	14,7	255,4	29,11	3,69	406,0	4,65	104,8	2,37	-150,6	4	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 9	16,5	284,5	32,59	3,68	452,4	4,64	116,7	2,36	-167,9	4	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 10	18,2	312,9	36,03	3,67	497,6	4,63	128,3	2,35	-184,6	4	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 11	19,9	340,6	39,41	3,66	541,5	4,62	139,8	2,35	-200,9	1	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 12	21,6	367,7	42,73	3,65	584,3	4,61	151,1	2,34	-216,6	1	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 13	23,3	394,0	46,01	3,64	625,8	4,59	162,2	2,34	-231,8	1	1	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 14	25,0	419,8	49,25	3,63	666,3	4,58	173,3	2,33	-246,5	1	1	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 15	26,6	444,9	52,43	3,62	705,6	4,56	184,2	2,33	-260,7	1	1	1	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 16	28,3	469,4	55,57	3,61	743,8	4,54	195,0	2,33	-274,4	1	1	1	✓	✓	✓
L 130 x 130 x 8	16,0	326,7	34,26	4,00	519,2	5,05	134,3	2,57	-192,5	4	4	-	✓		
L 130 x 130 x 9	17,9	364,4	38,39	4,00	579,2	5,04	149,5	2,56	-214,9	4	4	-	✓		
L 130 x 130 x 10	19,8	401,1	42,47	3,99	637,8	5,03	164,5	2,55	-236,7	4	4	-	✓		
L 130 x 130 x 11	21,7	437,1	46,48	3,98	694,9	5,02	179,2	2,55	-257,9	4	4	-	✓		
L 130 x 130 x 12	23,5	472,2	50,44	3,97	750,6	5,00	193,7	2,54	-278,4	1	4	-	✓		
L 130 x 130 x 13	25,4	506,5	54,35	3,96	804,9	4,99	208,1	2,54	-298,4	1	4	-	✓		
L 130 x 130 x 14	27,2	540,1	58,20	3,95	857,8	4,98	222,3	2,53	-317,8	1	1	-	✓		
L 130 x 130 x 15	29,0	572,9	62,00	3,94	909,4	4,96	236,3	2,53	-336,5	1	1	-	✓		
L 130 x 130 x 16	30,8	605,0	65,75	3,93	959,7	4,94	250,3	2,53	-354,7	1	1	-	✓		
L 140 x 140 x 9	19,3	457,8	44,66	4,31	727,6	5,44	188,0	2,76	-269,8	4	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 10	21,4	504,4	49,43	4,30	802,0	5,43	206,9	2,76	-297,6	4	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 11	23,4	550,1	54,14	4,29	874,7	5,41	225,5	2,75	-324,6	4	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 12	25,4	594,8	58,78	4,28	945,7	5,40	243,9	2,74	-350,9	4	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 13	27,5	638,5	63,37	4,27	1015	5,39	262,0	2,74	-376,5	1	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 14	29,4	681,4	67,89	4,26	1083	5,37	280,0	2,73	-401,4	1	4	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 15	31,4	723,3	72,36	4,25	1149	5,36	297,7	2,73	-425,6	1	2	-	✓	✓	
L 140 x 140 x 16	33,3	764,4	76,77	4,24	1214	5,34	315,2	2,72	-449,2	1	1	-	✓	✓	
L 150 x 150 x 10	23,0	624,0	56,91	4,62	992,0	5,82	256,1	2,96	-368,0	4	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 12	27,3	736,9	67,75	4,60	1172	5,80	302,1	2,94	-434,9	4	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 13	29,5	791,7	73,07	4,59	1259	5,79	324,6	2,94	-467,1	4	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 14	31,6	845,4	78,33	4,58	1344	5,77	346,9	2,93	-498,5	1	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 15	33,8	898,1	83,52	4,57	1427	5,76	369,0	2,93	-529,1	1	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 16	35,9	949,7	88,65	4,56	1509	5,74	390,8	2,92	-558,9	1	4	4	✓	✓	✓

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

## Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

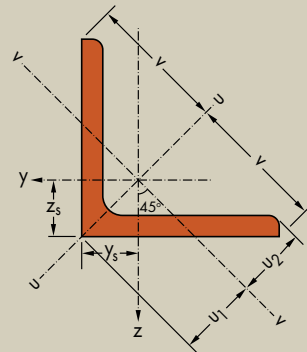
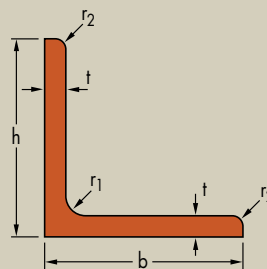
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen			Position des axes Position of axes Lage der Achsen					Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

L 150 x 150 x 18 <sup>+/-x</sup>	40,1	150	18	16	51,0	4,37	10,61	6,17	5,37	0,586	14,63
L 150 x 150 x 20 <sup>+/-x</sup>	44,2	150	20	16	56,3	4,44	10,61	6,28	5,41	0,586	13,27
L 160 x 160 x 14 <sup>+</sup>	33,9	160	14	17	43,2	4,45	11,31	6,29	5,66	0,625	18,46
L 160 x 160 x 15 <sup>+/-</sup>	36,2	160	15	17	46,1	4,49	11,31	6,35	5,67	0,625	17,30
L 160 x 160 x 16 <sup>+</sup>	38,4	160	16	17	49,0	4,53	11,31	6,41	5,69	0,625	16,28
L 160 x 160 x 17 <sup>+/-▲</sup>	40,7	160	17	17	51,8	4,57	11,31	6,46	5,70	0,625	15,37
L 160 x 160 x 18	42,9	160	18	17	54,7	4,61	11,31	6,52	5,71	0,625	14,57
L 160 x 160 x 19	45,1	160	19	17	57,5	4,65	11,31	6,58	5,73	0,625	13,86
L 180 x 180 x 13 <sup>+/-x</sup>	35,7	180	13	18	45,5	4,90	12,73	6,93	6,35	0,705	19,74
L 180 x 180 x 14 <sup>+/-x</sup>	38,3	180	14	18	48,8	4,94	12,73	6,99	6,36	0,705	18,40
L 180 x 180 x 15 <sup>+/-x</sup>	40,9	180	15	18	52,1	4,98	12,73	7,05	6,37	0,705	17,23
L 180 x 180 x 16 <sup>+/-/-x</sup>	43,5	180	16	18	55,4	5,02	12,73	7,10	6,38	0,705	16,20
L 180 x 180 x 17 <sup>+/-x</sup>	46,0	180	17	18	58,7	5,06	12,73	7,16	6,40	0,705	15,30
L 180 x 180 x 18 <sup>+/-/-x</sup>	48,6	180	18	18	61,9	5,10	12,73	7,22	6,41	0,705	14,50
L 180 x 180 x 19 <sup>+/-x</sup>	51,1	180	19	18	65,1	5,14	12,73	7,27	6,42	0,705	13,78
L 180 x 180 x 20 <sup>+/-x</sup>	53,7	180	20	18	68,3	5,18	12,73	7,33	6,44	0,705	13,13
L 200 x 200 x 13 <sup>x</sup>	39,8	200	13	18	50,7	5,40	14,14	7,63	7,06	0,785	19,73
L 200 x 200 x 15 <sup>+/-x</sup>	45,6	200	15	18	58,1	5,48	14,14	7,75	7,08	0,785	17,20
L 200 x 200 x 16 <sup>+/-/-x</sup>	48,5	200	16	18	61,8	5,52	14,14	7,81	7,09	0,785	16,18
L 200 x 200 x 17 <sup>+/-x</sup>	51,4	200	17	18	65,5	5,56	14,14	7,87	7,10	0,785	15,27
L 200 x 200 x 18 <sup>+/-/-x</sup>	54,2	200	18	18	69,1	5,60	14,14	7,93	7,12	0,785	14,46
L 200 x 200 x 19 <sup>+/-x</sup>	57,1	200	19	18	72,7	5,64	14,14	7,98	7,13	0,785	13,74
L 200 x 200 x 20 <sup>+/-/-x</sup>	59,9	200	20	18	76,3	5,68	14,14	8,04	7,15	0,785	13,09
L 200 x 200 x 21 <sup>+/-x</sup>	62,8	200	21	18	79,9	5,72	14,14	8,09	7,16	0,785	12,50
L 200 x 200 x 22 <sup>+/-x</sup>	65,6	200	22	18	83,5	5,76	14,14	8,15	7,18	0,785	11,97
L 200 x 200 x 23 <sup>+/-x</sup>	68,3	200	23	18	87,1	5,80	14,14	8,20	7,19	0,785	11,48
L 200 x 200 x 24 <sup>+/-/-x</sup>	71,1	200	24	18	90,6	5,84	14,14	8,26	7,21	0,785	11,03
L 200 x 200 x 25 <sup>+/-x</sup>	73,9	200	25	18	94,1	5,88	14,14	8,31	7,23	0,785	10,62
L 200 x 200 x 26 <sup>+/-x</sup>	76,6	200	26	18	97,6	5,91	14,14	8,36	7,25	0,785	10,24
L 200 x 200 x 28 <sup>x</sup>	82,0	200	28	18	105	5,99	14,14	8,47	7,28	0,785	9,56

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

► Profilé conforme à DIN 1028: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

► Section in accordance with DIN 1028: 1994.

► Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

► Profil gemäß DIN 1028: 1994.

► Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*								Classification EN 1993-1-1: 2005				EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
		axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v			Pure compression						
		I <sub>y</sub> = I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> = W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> = i <sub>z</sub> mm x10	I <sub>u</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>u</sub> mm x10	I <sub>v</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>v</sub> mm x10		I <sub>yz</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	S235	S355	S420			
G	kg/m															
L 150 x 150 x 18	40,1	1050	98,74	4,54	1666	5,71	433,8	2,92	-616,1	1	1	1	1	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 20	44,2	1146	108,6	4,51	1817	5,68	476,2	2,91	-670,2	1	1	1	1	✓	✓	✓
L 160 x 160 x 14	33,9	1034	89,50	4,89	1644	6,17	423,9	3,13	-609,9	2	4	4	-	✓		
L 160 x 160 x 15	36,2	1099	95,47	4,88	1747	6,16	450,9	3,13	-647,9	1	4	4	-	✓		
L 160 x 160 x 16	38,4	1163	101,4	4,87	1848	6,14	477,7	3,12	-685,0	1	4	4	-	✓		
L 160 x 160 x 17	40,7	1225	107,2	4,86	1947	6,13	504,2	3,12	-721,2	1	1	4	-	✓		
L 160 x 160 x 18	42,9	1287	113,0	4,85	2043	6,11	530,4	3,11	-756,5	1	1	4	-	✓		
L 160 x 160 x 19	45,1	1347	118,7	4,84	2138	6,10	556,5	3,11	-790,9	1	1	1	-	✓		
L 180 x 180 x 13	35,7	1396	106,5	5,54	2220	6,99	571,7	3,55	-824,4	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 14	38,3	1493	114,3	5,53	2375	6,98	611,4	3,54	-881,8	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 15	40,9	1589	122,0	5,52	2527	6,96	650,6	3,53	-938,0	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 16	43,5	1682	129,7	5,51	2675	6,95	689,4	3,53	-993,0	2	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 17	46,0	1775	137,2	5,50	2822	6,94	727,9	3,52	-1047	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 18	48,6	1866	144,7	5,49	2965	6,92	766,0	3,52	-1100	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 19	51,1	1955	152,1	5,48	3106	6,91	803,8	3,51	-1151	1	2	4	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 20	53,7	2043	159,4	5,47	3244	6,89	841,3	3,51	-1202	1	1	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 13	39,8	1939	132,8	6,19	3085	7,80	792,8	3,96	-1146	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 15	45,6	2209	152,2	6,17	3516	7,78	903,0	3,94	-1306	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 16	48,5	2341	161,7	6,16	3725	7,76	957,2	3,94	-1384	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 17	51,4	2472	171,2	6,14	3932	7,75	1011	3,93	-1461	4	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 18	54,2	2600	180,6	6,13	4135	7,74	1064	3,92	-1535	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 19	57,1	2726	189,9	6,12	4335	7,72	1117	3,92	-1609	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 20	59,9	2851	199,1	6,11	4532	7,70	1169	3,91	-1681	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 21	62,8	2973	208,2	6,10	4725	7,69	1221	3,91	-1752	1	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 22	65,6	3094	217,3	6,09	4915	7,67	1273	3,90	-1821	1	1	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 23	68,3	3213	226,3	6,08	5102	7,66	1324	3,90	-1889	1	1	2	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 24	71,1	3331	235,2	6,06	5286	7,64	1375	3,90	-1955	1	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 25	73,9	3446	244,0	6,05	5467	7,62	1426	3,89	-2020	1	1	1	1	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 26	76,6	3560	252,7	6,04	5644	7,61	1476	3,89	-2084	1	1	1	1	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 28	82,0	3784	270,0	6,02	5991	7,57	1576	3,88	-2207	1	1	1	1	✓	✓	✓

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$   
 \* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$



## Cornières à ailes égales▼ (suite)

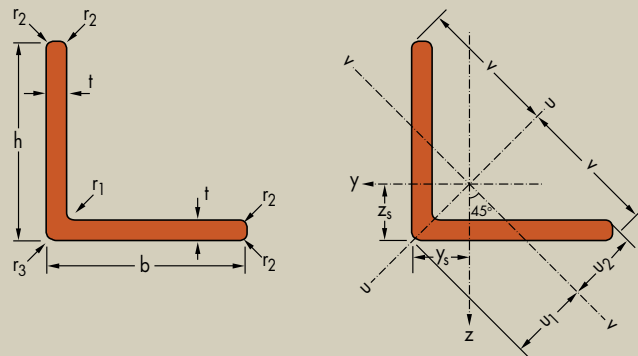
Dimensions: AM Standard  
Tolérances: EN 10056-2: 1993  
Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: AM Standard  
Tolérances: EN 10056-2: 1993  
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: AM Standard  
Toleranzen: EN 10056-2: 1993  
Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					Position des axes Position of axes Lage der Achsen					Surface Oberfläche	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	A	z <sub>s</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t

L 250 x 250 x 17 <sup>+</sup>	64,4	250	17	18	9	3	82,1	6,79	17,68	9,60	9,28	0,98	15,14
L 250 x 250 x 18 <sup>+</sup>	68,1	250	18	18	9	3	86,7	6,83	17,68	9,66	9,29	0,98	14,33
L 250 x 250 x 19 <sup>+</sup>	71,7	250	19	18	9	3	91,4	6,87	17,68	9,72	9,30	0,98	13,60
L 250 x 250 x 20 <sup>+</sup>	75,3	250	20	18	9	3	96,0	6,91	17,68	9,78	9,31	0,98	12,95
L 250 x 250 x 21 <sup>+</sup>	78,9	250	21	18	9	3	100,6	6,96	17,68	9,84	9,33	0,98	12,36
L 250 x 250 x 22 <sup>+</sup>	82,5	250	22	18	9	3	105,1	7,00	17,68	9,89	9,34	0,98	11,82
L 250 x 250 x 23 <sup>+</sup>	86,1	250	23	18	9	3	109,7	7,03	17,68	9,95	9,36	0,98	11,33
L 250 x 250 x 24 <sup>+</sup>	89,7	250	24	18	9	3	114,2	7,07	17,68	10,00	9,37	0,98	10,88
L 250 x 250 x 25 <sup>+</sup>	93,2	250	25	18	9	3	118,7	7,11	17,68	10,06	9,39	0,98	10,47
L 250 x 250 x 26 <sup>+</sup>	96,7	250	26	18	9	3	123,2	7,15	17,68	10,11	9,40	0,98	10,09
L 250 x 250 x 27 <sup>+</sup>	101	250	27	18	9	3	127,7	7,19	17,68	10,17	9,42	0,98	9,66
L 250 x 250 x 28 <sup>+</sup>	104	250	28	18	9	3	132,1	7,23	17,68	10,22	9,44	0,98	9,40
L 250 x 250 x 29 <sup>+</sup>	107	250	29	18	9	3	136,6	7,27	17,68	10,28	9,45	0,98	9,10
L 250 x 250 x 30 <sup>+</sup>	111	250	30	18	9	3	141,0	7,30	17,68	10,33	9,47	0,98	8,81
L 250 x 250 x 31 <sup>+</sup>	114	250	31	18	9	3	145,4	7,34	17,68	10,38	9,49	0,98	8,55
L 250 x 250 x 32 <sup>+</sup>	118	250	32	18	9	3	149,7	7,38	17,68	10,44	9,50	0,98	8,30
L 250 x 250 x 33 <sup>+</sup>	121	250	33	18	9	3	154,1	7,42	17,68	10,49	9,52	0,98	8,06
L 250 x 250 x 34 <sup>+</sup>	124	250	34	18	9	3	158,4	7,45	17,68	10,54	9,54	0,98	7,84
L 250 x 250 x 35 <sup>+/-</sup>	128	250	35	18	9	3	162,7	7,49	17,68	10,59	9,56	0,98	7,64
L 300 x 300 x 25 <sup>+</sup>	112	300	25	18	12	15	142,7	8,35	21,21	11,80	11,18	1,17	10,40
L 300 x 300 x 26 <sup>+</sup>	116	300	26	18	12	15	148,2	8,39	21,21	11,86	11,19	1,17	10,01
L 300 x 300 x 27 <sup>+</sup>	121	300	27	18	12	15	153,7	8,43	21,21	11,92	11,21	1,17	9,66
L 300 x 300 x 28 <sup>+</sup>	125	300	28	18	12	15	159,1	8,47	21,21	11,97	11,22	1,17	9,33
L 300 x 300 x 29 <sup>+</sup>	129	300	29	18	12	15	164,6	8,50	21,21	12,03	11,24	1,17	9,02
L 300 x 300 x 30 <sup>+</sup>	133	300	30	18	12	15	170,0	8,54	21,21	12,08	11,25	1,17	8,73
L 300 x 300 x 31 <sup>+</sup>	138	300	31	18	12	15	175,4	8,58	21,21	12,14	11,27	1,17	8,46
L 300 x 300 x 32 <sup>+</sup>	142	300	32	18	12	15	180,7	8,62	21,21	12,19	11,29	1,17	8,21
L 300 x 300 x 33 <sup>+</sup>	146	300	33	18	12	15	186,1	8,66	21,21	12,24	11,30	1,17	7,98
L 300 x 300 x 34 <sup>+</sup>	150	300	34	18	12	15	191,4	8,70	21,21	12,30	11,32	1,17	7,75
L 300 x 300 x 35 <sup>+</sup>	154	300	35	18	12	15	196,7	8,73	21,21	12,35	11,34	1,17	7,55

▼ Autres dimensions sur demande. Les rayons r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> peuvent être inférieur en fonction du procédé de laminage.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 20t par profilé et qualité ou suivant accord.

▼ Other dimensions on request. The r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> radius may be smaller depending on the rolling process.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 20t per section and grade or upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage. Die Radien r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> können je nach Walzprozess kleiner sein.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 20t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung		Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte								Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
		axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v			Pure compression					
		$I_y = I_z$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$W_{ely} = W_{elz}$ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	$I_y = I_z$ mm x10	$I_u$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$i_u$ mm x10	$I_v$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	$i_v$ mm x10		$I_{yz}$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	S235	S355			
G kg/m															
L 250 x 250 x 17	64,4	4893	268,7	7,72	7789	9,74	1997	4,93	-2896	4	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 18	68,1	5156	283,8	7,71	8208	9,73	2104	4,93	-3052	4	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 19	71,7	5417	298,9	7,70	8622	9,71	2212	4,92	-3205	4	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 20	75,3	5674	313,8	7,69	9031	9,70	2318	4,91	-3357	4	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 21	78,9	5929	328,6	7,68	9435	9,69	2423	4,91	-3506	4	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 22	82,5	6180	343,3	7,67	9833	9,67	2528	4,90	-3652	2	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 23	86,1	6429	357,8	7,66	10230	9,66	2632	4,90	-3797	1	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 24	89,7	6674	372,3	7,64	10610	9,64	2735	4,89	-3939	1	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 25	93,2	6917	386,7	7,63	11000	9,63	2837	4,89	-4079	1	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 26	96,7	7156	400,9	7,62	11370	9,61	2939	4,88	-4217	1	4	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 27	101	7393	415,1	7,61	11750	9,59	3040	4,88	-4353	1	2	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 28	104	7627	429,2	7,60	12110	9,57	3141	4,88	-4486	1	1	4	✓	✓	
L 250 x 250 x 29	107	7858	443,1	7,59	12480	9,56	3241	4,87	-4618	1	1	2	✓	✓	
L 250 x 250 x 30	111	8087	457,0	7,57	12830	9,54	3340	4,87	-4747	1	1	1	✓	✓	
L 250 x 250 x 31	114	8313	470,8	7,56	13190	9,53	3439	4,86	-4874	1	1	-	✓		
L 250 x 250 x 32	118	8536	484,4	7,55	13540	9,51	3538	4,86	-4998	1	1	-	✓		
L 250 x 250 x 33	121	8757	498,0	7,54	13880	9,49	3636	4,86	-5121	1	1	-	✓		
L 250 x 250 x 34	124	8975	511,5	7,53	14220	9,47	3734	4,86	-5241	1	1	-	✓		
L 250 x 250 x 35	128	9191	524,9	7,52	14550	9,46	3832	4,85	-5359	1	1	-	✓		
L 300 x 300 x 25	112	12150	561,1	9,23	19370	11,65	4930	5,88	-7220	4	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 26	116	12590	582,5	9,22	20060	11,63	5115	5,87	-7475	2	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 27	121	13020	603,5	9,20	20750	11,62	5294	5,87	-7726	2	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 28	125	13450	624,6	9,19	21420	11,60	5475	5,87	-7975	1	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 29	129	13870	645,2	9,18	22090	11,59	5650	5,86	-8220	1	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 30	133	14290	666,0	9,17	22750	11,57	5828	5,86	-8462	1	4	4	✓	✓	
L 300 x 300 x 31	138	14700	686,3	9,16	23400	11,55	5999	5,85	-8701	1	4	-	✓		
L 300 x 300 x 32	142	15120	707,2	9,15	24050	11,54	6184	5,85	-8936	1	2	-	✓		
L 300 x 300 x 33	146	15520	727,2	9,13	24690	11,52	6351	5,84	-9169	1	2	-	✓		
L 300 x 300 x 34	150	15930	747,7	9,12	25320	11,50	6532	5,84	-9398	1	1	-	✓		
L 300 x 300 x 35	154	16320	767,4	9,11	25950	11,49	6696	5,83	-9624	1	1	-	✓		

## Cornières à ailes inégales▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Unequal leg angles▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

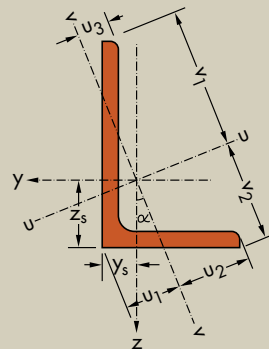
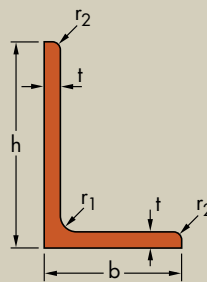
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Ungleichschenkliger Winkelstahl▼

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G	Dimensions Abmessungen				A	Position des axes Position of axes Lage der Achsen							Surface Oberfläche	
		h	b	t	r <sub>1</sub>		z <sub>s</sub>	y <sub>s</sub>	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>C</sub>
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t
L 100 x 65 x 7 <sup>-</sup>	8,77	100	65	7	10	11,2	3,23	1,51	6,83	4,90	2,64	3,44	1,66	0,321	36,66
L 100 x 65 x 8 <sup>-</sup>	9,94	100	65	8	10	12,7	3,27	1,55	6,81	4,92	2,69	3,43	1,69	0,321	32,32
L 100 x 65 x 9 <sup>+</sup>	11,1	100	65	9	10	14,1	3,32	1,59	6,78	4,94	2,74	3,42	1,72	0,321	28,94
L 100 x 65 x 10 <sup>-</sup>	12,3	100	65	10	10	15,6	3,36	1,63	6,76	4,96	2,79	3,41	1,75	0,321	26,23
L 100 x 65 x 12	14,5	100	65	12	10	18,5	3,44	1,71	6,72	4,99	2,88	3,40	1,81	0,321	22,17
L 110 x 70 x 10 <sup>+/*</sup>	13,4	110	70	10	10	17,1	3,69	1,72	7,43	5,38	2,96	3,73	1,84	0,351	26,17
L 110 x 70 x 12 <sup>+/*</sup>	15,9	110	70	12	10	20,3	3,77	1,79	7,38	5,42	3,05	3,72	1,90	0,351	22,09
L 120 x 80 x 8 <sup>-</sup>	12,2	120	80	8	11	15,5	3,83	1,87	8,23	5,97	3,25	4,19	2,09	0,391	32,12
L 120 x 80 x 10 <sup>-</sup>	15,0	120	80	10	11	19,1	3,92	1,95	8,19	6,01	3,35	4,17	2,15	0,391	26,01
L 120 x 80 x 12 <sup>-</sup>	17,8	120	80	12	11	22,7	4,00	2,03	8,14	6,04	3,45	4,16	2,20	0,391	21,93
L 130 x 90 x 10 <sup>+</sup>	16,6	130	90	10	11	21,2	4,16	2,19	8,93	6,67	3,75	4,62	2,49	0,431	25,96
L 130 x 90 x 12 <sup>+</sup>	19,7	130	90	12	11	25,1	4,24	2,26	8,90	6,69	3,84	4,59	2,51	0,430	21,80
L 130 x 90 x 14 <sup>+</sup>	22,8	130	90	14	11	29,0	4,33	2,34	8,85	6,73	3,95	4,61	2,60	0,431	18,94
L 140 x 90 x 8 <sup>+</sup>	14,0	140	90	8	11	17,9	4,49	2,03	9,56	6,81	3,58	4,83	2,27	0,451	32,08
L 140 x 90 x 10 <sup>+</sup>	17,4	140	90	10	11	22,1	4,58	2,11	9,52	6,85	3,69	4,81	2,33	0,451	25,94
L 140 x 90 x 12 <sup>+</sup>	20,6	140	90	12	11	26,3	4,66	2,19	9,47	6,89	3,79	4,79	2,39	0,451	21,83
L 140 x 90 x 14 <sup>+</sup>	23,8	140	90	14	11	30,4	4,74	2,27	9,43	6,92	3,88	4,78	2,45	0,451	18,90
L 150 x 90 x 10 <sup>+/-/x</sup>	18,2	150	90	10	12	23,2	5,00	2,04	10,10	7,07	3,61	4,97	2,20	0,470	25,84
L 150 x 90 x 11 <sup>+/-/x</sup>	19,9	150	90	11	12	25,3	5,04	2,08	10,07	7,09	3,66	4,95	2,23	0,470	23,61
L 150 x 90 x 12 <sup>+/-/x</sup>	21,6	150	90	12	12	27,5	5,08	2,12	10,05	7,11	3,71	4,94	2,26	0,470	21,75
L 150 x 100 x 10 <sup>+/-/x</sup>	19,0	150	100	10	12	24,2	4,81	2,34	10,27	7,48	4,08	5,25	2,64	0,490	25,83
L 150 x 100 x 12 <sup>+/-/x</sup>	22,5	150	100	12	12	28,7	4,90	2,42	10,23	7,52	4,18	5,23	2,70	0,490	21,72
L 150 x 100 x 14 <sup>+/-/x</sup>	26,1	150	100	14	12	33,2	4,98	2,50	10,19	7,55	4,28	5,22	2,75	0,490	18,79
L 200 x 100 x 10 <sup>+/-/x</sup>	23,0	200	100	10	15	29,2	6,93	2,01	13,15	8,74	3,72	5,94	2,09	0,587	25,58
L 200 x 100 x 12 <sup>+/-/x</sup>	27,3	200	100	12	15	34,8	7,03	2,10	13,08	8,81	3,82	5,89	2,17	0,587	21,49
L 200 x 100 x 14 <sup>+/-/x</sup>	31,6	200	100	14	15	40,3	7,12	2,18	13,01	8,86	3,91	5,85	2,24	0,587	18,57
L 200 x 100 x 15 <sup>+/-/x</sup>	33,7	200	100	15	15	43,0	7,16	2,22	12,98	8,89	3,95	5,84	2,27	0,587	17,40
L 200 x 100 x 16 <sup>+/-/x</sup>	35,9	200	100	16	15	45,7	7,20	2,26	12,95	8,92	3,99	5,82	2,31	0,587	16,37

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

\* Profilé conforme à DIN 1029: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5545: 1977.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

\* Section in accordance with DIN 1029: 1994

► Section in accordance with CSN 42 5545: 1977.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

\* Profil gemäß DIN 1029: 1994

► Profil gemäß CSN 42 5545: 1977.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*												Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	axe y-y axis y-y Achse y-y			axe z-z axis z-z Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v		I <sub>yz</sub>	α	Pure compression						
	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	I <sub>u</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>u</sub> mm x10	I <sub>v</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	i <sub>v</sub> mm x10			S235	S355	S460				
G kg/m																			
L 100 x 65 x 7	8,77	112,5	16,61	3,17	37,58	7,53	1,83	128,2	3,39	21,89	1,40	-37,7	22,59	4	4		✓		
L 100 x 65 x 8	9,94	126,8	18,85	3,16	42,23	8,54	1,83	144,4	3,38	24,66	1,40	-42,4	22,53	3	4		✓		
L 100 x 65 x 9	11,1	140,6	21,05	3,15	46,70	9,52	1,82	160,0	3,36	27,37	1,39	-46,8	22,44	1	3		✓		
L 100 x 65 x 10	12,3	154,0	23,20	3,14	50,98	10,48	1,81	175,0	3,35	30,03	1,39	-51,0	22,35	1	2		✓		
L 100 x 65 x 12	14,5	179,6	27,38	3,12	59,07	12,33	1,79	203,4	3,32	35,23	1,38	-58,7	22,11	1	1		✓		
L 110 x 70 x 10	13,4	206,6	28,27	3,48	65,07	12,31	1,95	233,2	3,69	38,54	1,50	-66,8	21,67	1	3		✓		
L 110 x 70 x 12	15,9	241,5	33,40	3,45	75,54	14,51	1,93	271,8	3,66	45,22	1,49	-77,1	21,46	1	2		✓		
L 120 x 80 x 8	12,2	225,7	27,63	3,82	80,76	13,17	2,28	260,0	4,10	46,39	1,73	-78,5	23,65	4	4		✓		
L 120 x 80 x 10	15,0	275,5	34,10	3,80	98,11	16,21	2,26	317,0	4,07	56,60	1,72	-95,3	23,53	2	4		✓		
L 120 x 80 x 12	17,8	322,8	40,37	3,77	114,3	19,14	2,24	370,7	4,04	66,45	1,71	-110,8	23,37	1	2		✓		
L 130 x 90 x 10	16,6	359,7	40,70	4,12	141,8	20,82	2,59	421,5	4,46	79,92	1,94	-131,6	25,19	3	4		✓		
L 130 x 90 x 12	19,7	420,4	47,97	4,09	164,5	24,42	2,56	491,6	4,42	93,31	1,93	-152,6	25,02	1	3		✓		
L 130 x 90 x 14	22,8	481,4	55,50	4,07	187,9	28,24	2,55	561,9	4,40	107,4	1,93	-173,5	24,89	1	2		✓		
L 140 x 90 x 8	14,0	360,0	37,86	4,49	118,2	16,96	2,57	409,3	4,78	68,90	1,96	-119,8	22,38	4	4		✓		
L 140 x 90 x 10	17,4	440,9	46,81	4,46	144,1	20,91	2,55	500,8	4,76	84,19	1,95	-146,2	22,28	3	4		✓		
L 140 x 90 x 12	20,6	518,1	55,50	4,44	168,4	24,72	2,53	587,6	4,73	98,93	1,94	-170,6	22,15	2	4		✓		
L 140 x 90 x 14	23,8	591,9	63,96	4,41	191,3	28,41	2,51	670,0	4,70	113,3	1,93	-193,3	21,99	1	3		✓		
L 150 x 90 x 10	18,2	533,1	53,29	4,80	146,1	20,98	2,51	591,3	5,05	87,93	1,95	-160,9	19,87	4	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 90 x 11	19,9	580,7	58,30	4,79	158,7	22,91	2,50	643,7	5,04	95,70	1,94	-174,7	19,81	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 90 x 12	21,6	627,3	63,25	4,77	170,9	24,82	2,49	694,8	5,03	103,4	1,94	-188,1	19,75	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 10	19,0	552,6	54,23	4,78	198,5	25,92	2,87	637,3	5,14	113,8	2,17	-192,8	23,72	4	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 12	22,5	650,5	64,38	4,76	232,6	30,69	2,85	749,3	5,11	133,9	2,16	-225,9	23,61	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 14	26,1	744,4	74,27	4,74	264,9	35,32	2,82	855,9	5,08	153,4	2,15	-256,8	23,48	1	3	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 10	23,0	1219	93,24	6,46	210,3	26,33	2,68	1294	6,65	134,5	2,14	-286,8	14,82	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 12	27,3	1440	111,0	6,43	247,2	31,28	2,67	1529	6,63	158,5	2,13	-337,3	14,74	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 14	31,6	1654	128,4	6,41	282,2	36,08	2,65	1755	6,60	181,7	2,12	-384,8	14,65	3	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 15	33,7	1758	137,0	6,40	299,1	38,44	2,64	1865	6,59	193,1	2,12	-407,4	14,59	3	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 16	35,9	1861	145,4	6,38	315,6	40,76	2,63	1972	6,57	204,3	2,11	-429,3	14,53	3	4	4	✓	✓	✓

\* Les valeurs statiques sont calculées avec  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

\* Sectional properties have been calculated with  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

\* Die statischen Werte sind berechnet mit  $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

# Dimensions de construction - cornières à ailes égales▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

# Dimensions for detailing - equal leg angles▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

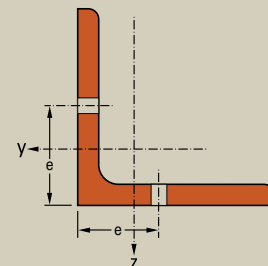
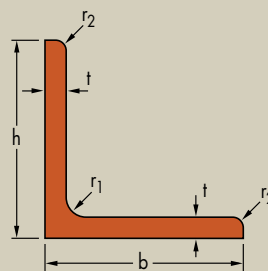
# Konstruktionsmaße - gleichschenkliger

# Winkelstahl▼

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen				Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße			
G kg/m	h=b mm	t mm	r <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø	e <sub>min</sub> mm	e <sub>max</sub> mm	A <sub>net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>

L 60 x 60 x 4	3,70	60	4	8	4,71	M 12	34	40,5	4,15
L 60 x 60 x 5 <sup>-▲</sup>	4,57	60	5	8	5,82	M 12	35	40,5	5,12
L 60 x 60 x 6 <sup>-▲</sup>	5,42	60	6	8	6,91	M 12	36	40,5	6,07
L 60 x 60 x 7 <sup>*</sup>	6,26	60	7	8	7,98	M12	28	37	7,00
L 60 x 60 x 8 <sup>-▲</sup>	7,09	60	8	8	9,03	M 12	29	37	7,91
L 60 x 60 x 10 <sup>*</sup>	8,69	60	10	8	11,1	M12	31	37	9,67
L 63 x 63 x 5 <sup>*</sup>	4,82	63	5	9	6,14	M 16	30	34	5,24
L 63 x 63 x 6 <sup>*</sup>	5,72	63	6	9	7,29	M 16	31	34	6,21
L 63 x 63 x 6,5 <sup>*</sup>	6,17	63	6,5	9	7,85	M 16	32	34	6,68
L 65 x 65 x 4 <sup>*</sup>	4,02	65	4	9	5,13	M 16	29	36	4,41
L 65 x 65 x 5 <sup>*</sup>	4,97	65	5	9	6,34	M 16	30	36	5,44
L 65 x 65 x 6 <sup>*/▶</sup>	5,91	65	6	9	7,53	M 16	31	36	6,45
L 65 x 65 x 7 <sup>-</sup>	6,83	65	7	9	8,70	M 16	32	36	7,44
L 65 x 65 x 8 <sup>*/▶</sup>	7,73	65	8	9	9,85	M 16	33	36	8,41
L 65 x 65 x 9 <sup>*</sup>	8,62	65	9	9	11,0	M 16	34	36	9,36
L 65 x 65 x 10 <sup>*</sup>	9,49	65	10	9	12,1	M 16	35	36	10,3
L 65 x 65 x 11 <sup>*</sup>	10,3	65	11	9	13,2	M 16	36	36	11,2
L 70 x 70 x 5	5,37	70	5	9	6,84	M 16	30	41	5,94
L 70 x 70 x 6 <sup>-</sup>	6,38	70	6	9	8,13	M 16	31	41	7,05
L 70 x 70 x 7 <sup>-</sup>	7,38	70	7	9	9,40	M 16	32	41	8,14
L 70 x 70 x 8 <sup>▶</sup>	8,37	70	8	10	10,7	M 16	34	41	9,23
L 70 x 70 x 9 <sup>◄</sup>	9,32	70	9	9	11,9	M 16	34	41	10,3
L 70 x 70 x 10 <sup>*</sup>	10,3	70	10	9	13,1	M 16	35	41	11,3
L 75 x 75 x 4 <sup>*</sup>	4,65	75	4	9	5,93	M 16	29	46	5,21
L 75 x 75 x 5 <sup>*</sup>	5,76	75	5	9	7,34	M 16	30	46	6,44
L 75 x 75 x 6 <sup>-/*</sup>	6,85	75	6	9	8,73	M 16	31	46	7,65
L 75 x 75 x 7 <sup>*</sup>	7,93	75	7	9	10,1	M 16	32	46	8,84
L 75 x 75 x 8 <sup>-</sup>	8,99	75	8	9	11,4	M 16	33	46	10,0
L 75 x 75 x 9 <sup>*</sup>	10,0	75	9	9	12,8	M 16	34	46	11,2
L 75 x 75 x 10 <sup>*</sup>	11,1	75	10	9	14,1	M 16	35	46	12,3

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen				Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße			
	G kg/m	h=b mm	t mm	r <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø	e <sub>min</sub> mm	e <sub>max</sub> mm	A <sub>net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>
L 80 x 80 x 5*	6,17	80	5	10	7,86	M 16	31	51	6,96
L 80 x 80 x 6*	7,34	80	6	10	9,35	M 16	32	51	8,27
L 80 x 80 x 7*	8,49	80	7	10	10,8	M 16	33	51	9,56
L 80 x 80 x 8*	9,63	80	8	10	12,3	M 16	34	51	10,8
L 80 x 80 x 9*	10,8	80	9	10	13,7	M 16	35	51	12,1
L 80 x 80 x 10-/*	11,9	80	10	10	15,1	M 16	36	51	13,3
L 90 x 90 x 5*	6,97	90	5	10	8,88	M20	35	55	7,78
L 90 x 90 x 6*	8,28	90	6	10	10,5	M 20	36	55	9,23
L 90 x 90 x 7*	9,61	90	7	11	12,2	M 20	38	55	10,7
L 90 x 90 x 8*	10,9	90	8	11	13,9	M 20	39	55	12,1
L 90 x 90 x 9*	12,2	90	9	11	15,5	M 20	40	55	13,5
L 90 x 90 x 10-/*	13,4	90	10	11	17,1	M 20	41	55	14,9
L 90 x 90 x 11*	14,7	90	11	11	18,7	M 20	42	55	16,3
L 90 x 90 x 16	20,7	90	16	11	26,4	M 20	47	55	22,8
L 100 x 100 x 6*	9,26	100	6	12	11,8	M 24	41	59	10,2
L 100 x 100 x 7	10,7	100	7	12	13,7	M 24	42	59	11,8
L 100 x 100 x 8*	12,2	100	8	12	15,5	M 24	43	59	13,4
L 100 x 100 x 9	13,6	100	9	12	17,3	M 24	44	59	15,0
L 100 x 100 x 10*	15,0	100	10	12	19,2	M 24	45	59	16,60
L 100 x 100 x 11	16,4	100	11	12	20,9	M 24	46	59	18,1
L 100 x 100 x 12*	17,8	100	12	12	22,7	M 24	47	59	19,6
L 100 x 100 x 14*	20,6	100	14	12	26,2	M 24	49	59	22,6
L 100 x 100 x 16	23,2	100	16	12	29,6	M24	52	59	25,4
L 110 x 110 x 6	10,2	110	6	12	13,0	M 27	45	62	11,2
L 110 x 110 x 7	11,8	110	7	12	15,1	M 27	45	62	13,0
L 110 x 110 x 8*	13,4	110	8	12	17,1	M 27	46	62	14,7
L 110 x 110 x 9	15,0	110	9	12	19,1	M 27	47	62	16,4
L 110 x 110 x 10*	16,6	110	10	13	21,2	M 27	49	62	18,2
L 110 x 110 x 11	18,2	110	11	13	23,2	M27	50	62	19,9
L 110 x 110 x 12	19,7	110	12	13	25,1	M 27	51	62	21,5

# Dimensions de construction - cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Dimensions for detailing - equal leg angles▼(continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

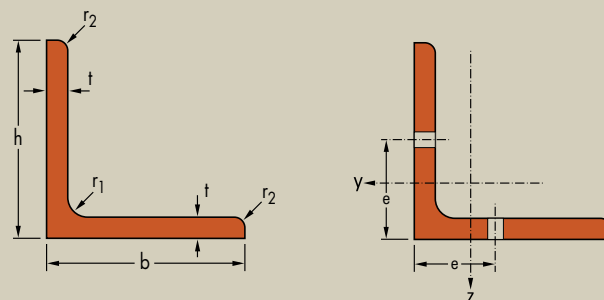
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Konstruktionsmaße - gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen			Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	Ø	e <sub>min</sub>	e <sub>max</sub>	A <sub>net</sub>	
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>		mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	
L 120 x 120 x 7*	12,9	120	7	13	16,5	M 27	46	72	14,4
L 120 x 120 x 8*/x	14,7	120	8	13	18,7	M 27	48	72	16,3
L 120 x 120 x 9*	16,5	120	9	13	21,0	M 27	48	72	18,3
L 120 x 120 x 10 <sup>-/x</sup>	18,2	120	10	13	23,2	M 27	49	72	20,2
L 120 x 120 x 11 <sup>▲/x</sup>	19,9	120	11	13	25,4	M 27	50	72	22,1
L 120 x 120 x 12 <sup>-/x</sup>	21,6	120	12	13	27,5	M 27	51	72	23,9
L 120 x 120 x 13*	23,3	120	13	13	29,7	M 27	52	72	25,8
L 120 x 120 x 14	25,0	120	14	13	31,8	M 27	53	72	27,6
L 120 x 120 x 15*	26,6	120	15	13	33,9	M 27	54	72	29,4
L 120 x 120 x 16*/x	28,3	120	16	13	36,0	M 27	56	72	31,2
L 130 x 130 x 8	16,0	130	8	14	20,4	M 27	48	82	18,0
L 130 x 130 x 9*	17,9	130	9	14	22,8	M 27	49	82	20,1
L 130 x 130 x 10	19,8	130	10	14	25,2	M 27	50	82	22,2
L 130 x 130 x 11	21,7	130	11	14	27,6	M 27	51	82	24,3
L 130 x 130 x 12	23,5	130	12	14	30,0	M 27	52	82	26,4
L 130 x 130 x 13*	25,4	130	13	14	32,3	M 27	53	82	28,4
L 130 x 130 x 14►	27,2	130	14	14	34,7	M 27	54	82	30,5
L 130 x 130 x 15	29,0	130	15	14	37,0	M 27	57	82	32,5
L 130 x 130 x 16*	30,8	130	16	14	39,3	M 27	27	82	34,5
L 140 x 140 x 9	19,3	140	9	15	24,6	M27	50	92	21,9
L 140 x 140 x 10►	21,4	140	10	15	27,2	M27	51	92	24,2
L 140 x 140 x 11	23,4	140	11	15	29,8	M27	52	92	26,5
L 140 x 140 x 12 ►	25,4	140	12	15	32,4	M27	53	92	28,8
L 140 x 140 x 13▲	27,5	140	13	15	35,0	M27	54	92	31,1
L 140 x 140 x 14 ►	29,4	140	14	15	37,5	M27	55	92	33,3
L 140 x 140 x 15	31,4	140	15	15	40,0	M27	56	92	35,5
L 140 x 140 x 16*	33,3	140	16	15	42,5	M27	58	92	37,7
L 150 x 150 x 10 <sup>+/-/x</sup>	23,0	150	10	16	29,3	M 27	52	102	26,3
L 150 x 150 x 12 <sup>+/-/x</sup>	27,3	150	12	16	34,8	M 27	54	102	31,2
L 150 x 150 x 13 <sup>+/x</sup>	29,5	150	13	16	37,6	M 27	55	102	33,7
L 150 x 150 x 14 <sup>+/-▲/x</sup>	31,6	150	14	16	40,3	M 27	56	102	36,1

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

▲ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

▲ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

► Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

▲ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

► Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen				Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße			
G kg/m	h=b mm	t mm	r <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø	e <sub>min</sub> mm	e <sub>max</sub> mm	A <sub>net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	
L 150 x 150 x 15 <sup>+/-/x</sup>	33,8	150	15	16	43,0	M 27	57	102	38,5
L 150 x 150 x 16 <sup>+/x</sup>	35,9	150	16	16	45,7	M 27	58	102	40,9
L 150 x 150 x 18 <sup>+/x</sup>	40,1	150	18	16	51,0	M 27	61	102	45,6
L 150 x 150 x 20 <sup>+/x</sup>	44,2	150	20	16	56,3	M 27	63	102	50,3
L 160 x 160 x 14 <sup>+</sup>	33,9	160	14	17	43,2	M 27	57	111	39,0
L 160 x 160 x 15 <sup>+/-</sup>	36,2	160	15	17	46,1	M 27	58	111	41,6
L 160 x 160 x 16 <sup>+</sup>	38,4	160	16	17	49,0	M 27	60	111	44,2
L 160 x 160 x 17 <sup>+/<sup>▲</sup></sup>	40,7	160	17	17	51,8	M 27	61	111	46,7
L 160 x 160 x 18	42,9	160	18	17	54,7	M 27	62	111	49,3
L 160 x 160 x 19	45,1	160	19	17	57,5	M 27	63	111	51,8
L 180 x 180 x 13 <sup>+/x</sup>	35,7	180	13	18	45,5	M 27	57	131	41,6
L 180 x 180 x 14 <sup>+/x</sup>	38,3	180	14	18	48,8	M 27	58	131	44,6
L 180 x 180 x 15 <sup>+/x</sup>	40,9	180	15	18	52,1	M 27	59	131	47,6
L 180 x 180 x 16 <sup>+/-/x</sup>	43,5	180	16	18	55,4	M 27	61	131	50,6
L 180 x 180 x 17 <sup>+/x</sup>	46,0	180	17	18	58,7	M 27	62	131	53,6
L 180 x 180 x 18 <sup>+/-/x</sup>	48,6	180	18	18	61,9	M 27	63	131	56,5
L 180 x 180 x 19 <sup>+/x</sup>	51,1	180	19	18	65,1	M 27	64	131	59,4
L 180 x 180 x 20 <sup>+/x</sup>	53,7	180	20	18	68,3	M 27	65	131	62,3
L 200 x 200 x 13 <sup>x</sup>	39,8	200	13	18	50,7	M 27	57	151	46,8
L 200 x 200 x 15 <sup>+/x</sup>	45,6	200	15	18	58,1	M 27	59	151	53,6
L 200 x 200 x 16 <sup>+/-/x</sup>	48,5	200	16	18	61,8	M 27	61	151	57,0
L 200 x 200 x 17 <sup>+/x</sup>	51,4	200	17	18	65,5	M 27	62	151	60,4
L 200 x 200 x 18 <sup>+/-/x</sup>	54,2	200	18	18	69,1	M 27	63	151	63,7
L 200 x 200 x 19 <sup>+/x</sup>	57,1	200	19	18	72,7	M 27	64	151	67,0
L 200 x 200 x 20 <sup>+/-/x</sup>	59,9	200	20	18	76,3	M 27	65	151	70,3
L 200 x 200 x 21 <sup>+/x</sup>	62,8	200	21	18	79,9	M 27	66	151	73,6
L 200 x 200 x 22 <sup>+/x</sup>	65,6	200	22	18	83,5	M 27	67	151	76,9
L 200 x 200 x 23 <sup>+/x</sup>	68,3	200	23	18	87,1	M 27	68	151	80,2
L 200 x 200 x 24 <sup>+/-/x</sup>	71,1	200	24	18	90,6	M 27	69	151	83,4
L 200 x 200 x 25 <sup>+/x</sup>	73,9	200	25	18	94,1	M 27	70	151	86,6
L 200 x 200 x 26 <sup>+/x</sup>	76,6	200	26	18	97,6	M 27	71	151	89,8
L 200 x 200 x 28 <sup>x</sup>	82,0	200	28	18	105	M 27	73	151	96,1



# Dimensions de construction - cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Dimensions for detailing - equal leg angles▼(continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

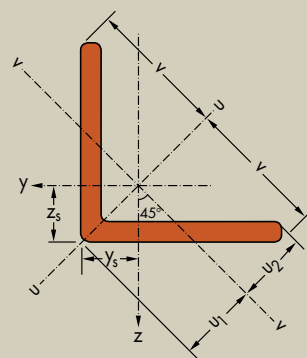
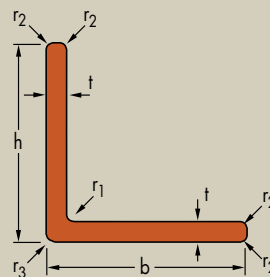
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Konstruktionsmaße - gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße			
G kg/m	h=b mm	t mm	r <sub>1</sub> mm	r <sub>2</sub> mm	r <sub>3</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø	e <sub>min</sub> mm	e <sub>max</sub> mm	A <sub>net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>

L 250 x 250 x 17*	64,4	250	17	18	9,0	3	82,1	M27	62	201	77,0
L 250 x 250 x 18*	68,1	250	18	18	9,0	3	86,7	M 27	63	201	81,3
L 250 x 250 x 19*	71,7	250	19	18	9,0	3	91,4	M 27	64	201	85,7
L 250 x 250 x 20*	75,3	250	20	18	9,0	3	96,0	M 27	65	201	90,0
L 250 x 250 x 21*	78,9	250	21	18	9,0	3	100,6	M 27	66	201	94,3
L 250 x 250 x 22*	82,5	250	22	18	9,0	3	105,1	M 27	67	201	98,5
L 250 x 250 x 23*	86,1	250	23	18	9,0	3	109,7	M 27	68	201	103
L 250 x 250 x 24*	89,7	250	24	18	9,0	3	114,2	M 27	69	201	107
L 250 x 250 x 25*	93,2	250	25	18	9,0	3	118,7	M 27	70	201	111
L 250 x 250 x 26*	96,7	250	26	18	9,0	3	123,2	M 27	71	201	115
L 250 x 250 x 27*	101	250	27	18	9,0	3	127,7	M 27	72	201	120
L 250 x 250 x 28*/-	104	250	28	18	9,0	3	137,1	M 27	73	201	124
L 250 x 250 x 29*	107	250	29	18	9,0	3	136,6	M 27	74	201	128
L 250 x 250 x 30*	111	250	30	18	9,0	3	141,0	M 27	75	201	132
L 250 x 250 x 31*	114	250	31	18	9,0	3	145,4	M 27	76	201	136
L 250 x 250 x 32*	118	250	32	18	9,0	3	149,7	M 27	77	201	140
L 250 x 250 x 33*	121	250	33	18	9,0	3	154,1	M 27	78	201	144
L 250 x 250 x 34*	124	250	34	18	9,0	3	158,4	M 27	79	201	148
L 250 x 250 x 35*/-	128	250	35	18	9,0	3	162,7	M 27	80	201	152
L 300 x 300 x 25*	112	300	25	18	12,0	15	142,7	M 27	70	251	135
L 300 x 300 x 26*	116	300	26	18	12,0	15	148,2	M 27	71	251	140
L 300 x 300 x 27*	121	300	27	18	12,0	15	153,7	M 27	72	251	146
L 300 x 300 x 28*	125	300	28	18	12,0	15	159,1	M 27	73	251	151
L 300 x 300 x 29*	129	300	29	18	12,0	15	164,6	M 27	74	251	156
L 300 x 300 x 30*	133	300	30	18	12,0	15	170,0	M 27	75	251	161
L 300 x 300 x 31*	138	300	31	18	12,0	15	175,4	M 27	76	251	166
L 300 x 300 x 32*	142	300	32	18	12,0	15	180,7	M 27	77	251	171
L 300 x 300 x 33*	146	300	33	18	12,0	15	186,1	M 27	78	251	176
L 300 x 300 x 34*	150	300	34	18	12,0	15	191,4	M 27	79	251	181
L 300 x 300 x 35*	154	300	35	18	12,0	15	196,7	M 27	80	251	186

- ▼ Autres dimensions sur demande. Les rayons r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> peuvent être inférieur en fonction du procédé de laminage.
- \* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
- + Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.
- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998
- Profilé conforme à DIN 1028: 1994
- Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Avec arêtes vives sur demande.
- x Profilé disponible en S460M suivant accord.

- ▼ Other dimensions on request. The r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> radius may be smaller depending on the rolling process.
- \* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
- + Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.
- Section in accordance with DIN 1028: 1994.
- Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Available with sharp edges.
- x Section available in S460M upon agreement.

- ▼ Andere Abmessungen auf Anfrage. Die Radien r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> können je nach Walzprozess kleiner sein.
- \* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.
- + Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.
- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.
- Profil gemäß DIN 1028: 1994.
- Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.
- x Profil in S460M nach Vereinbarung.

# Dimensions de construction - cornières à ailes inégales▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

## Dimensions for detailing - unequal leg angles▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

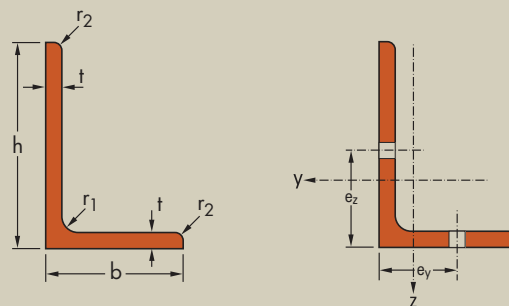
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## Konstruktionsmaße - ungleichschenkliger Winkelstahl▼

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					Dimensions de construction /Dimensions for detailing /Konstruktionsmaße							
						aile longue / long leg / langer Schenkel				aile courte / short leg / kurzer Schenkel			
G kg/m	h mm	b mm	t mm	r <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø <sub>z</sub>	e <sub>z,min</sub> mm	e <sub>z,max</sub> mm	A <sub>z,net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Ø <sub>y</sub>	e <sub>y,min</sub> mm	e <sub>y,max</sub> mm	A <sub>y,net</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>

L 100 x 65 x 7 <sup>-</sup>	8,77	100	65	7	10	11,2	M 27	47	54	9,07	M 16	37	38	9,91
L 100 x 65 x 8 <sup>-</sup>	9,94	100	65	8	10	12,7	M 27	48	54	10,3	M 16	38	38	11,2
L 100 x 65 x 9 <sup>+</sup>	11,1	100	65	9	10	14,1	M 27	49	54	11,4	M 16	39	38	12,5
L 100 x 65 x 10 <sup>-</sup>	12,3	100	65	10	10	15,6	M 27	50	54	12,6	M 16	40	38	13,8
L 100 x 65 x 12	14,5	100	65	12	10	18,5	M 27	52	54	14,9	M 16	42	38	16,3
L 110 x 70 x 10 <sup>*/</sup>	13,4	110	70	10	10	17,1	M 27	50	64	14,1	M 16	40	43	15,3
L 110 x 70 x 12 <sup>*/</sup>	15,9	110	70	12	10	20,3	M 27	52	64	16,7	M 16	42	43	18,1
L 120 x 80 x 8 <sup>-</sup>	12,2	120	80	8	11	15,5	M 27	48	72	13,1	M 16	38	50	14,0
L 120 x 80 x 10 <sup>-</sup>	15,0	120	80	10	11	19,1	M 27	50	72	16,1	M 16	40	50	17,3
L 120 x 80 x 12 <sup>-</sup>	17,8	120	80	12	11	22,7	M 27	52	72	19,1	M 16	42	50	20,5
L 130 x 90 x 10 <sup>+</sup>	16,6	130	90	10	11	21,2	M 27	50	84	18,2	M 24	50	51	18,6
L 130 x 90 x 12 <sup>+</sup>	19,7	130	90	12	11	25,1	M 27	52	83	21,5	M 24	52	51	22,0
L 130 x 90 x 14 <sup>+</sup>	22,8	130	90	14	11	29,0	M 27	54	84	24,8	M 24	54	51	25,4
L 140 x 90 x 8 <sup>+</sup>	14,0	140	90	8	11	17,9	M 27	48	93	15,5	M 24	48	51	15,8
L 140 x 90 x 10 <sup>+</sup>	17,4	140	90	10	11	22,1	M 27	50	93	19,1	M 24	50	51	19,5
L 140 x 90 x 12 <sup>+</sup>	20,6	140	90	12	11	26,3	M 27	52	93	22,7	M 24	52	51	23,2
L 140 x 90 x 14 <sup>+</sup>	23,8	140	90	14	11	30,4	M 27	54	93	26,2	M 24	54	51	26,7
L 150 x 90 x 10 <sup>+/-/x</sup>	18,2	150	90	10	12	23,2	M 27	50	102	20,2	M 24	47	49	20,6
L 150 x 90 x 11 <sup>+/-/x</sup>	19,9	150	90	11	12	25,3	M 27	51	102	22,0	M 24	48	49	22,5
L 150 x 90 x 12 <sup>+/-/x</sup>	21,6	150	90	12	12	27,5	M 27	52	102	23,9	M 24	48	49	24,4
L 150 x 100 x 10 <sup>+/-/x</sup>	19,0	150	100	10	12	24,2	M 27	50	102	21,2	M 24	47	58	21,6
L 150 x 100 x 12 <sup>+/-/x</sup>	22,5	150	100	12	12	28,7	M 27	52	102	25,1	M 24	49	58	25,6
L 150 x 100 x 14 <sup>+/*/x</sup>	26,1	150	100	14	12	33,2	M 27	54	102	29,0	M 24	51	58	29,6
L 200 x 100 x 10 <sup>+/-/x</sup>	23,0	200	100	10	15	29,2	M 27	54	150	26,2	M 24	48	57	26,6
L 200 x 100 x 12 <sup>+/-/x</sup>	27,3	200	100	12	15	34,8	M 27	54	150	31,2	M 24	50	57	31,7
L 200 x 100 x 14 <sup>+/*/x</sup>	31,6	200	100	14	15	40,3	M 27	55	151	36,1	M 24	50	57	37,2
L 200 x 100 x 15 <sup>+/-/x</sup>	33,7	200	100	15	15	43,0	M 27	56	151	38,5	M 24	50	57	39,9
L 200 x 100 x 16 <sup>+/*/x</sup>	35,9	200	100	16	15	45,7	M 27	58	151	40,9	M 24	51	57	42,6

▼ Autres dimensions sur demande.

\* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

\* Profilé conforme à DIN 1029: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5545: 1977.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

\* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

\* Section in accordance with DIN 1029: 1994

► Section in accordance with CSN 42 5545: 1977.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

\* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

\* Profil gemäß DIN 1029: 1994

► Profil gemäß CSN 42 5545: 1977.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 11**

**Pesos y centro de gravedad del buque en rosca**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Cálculo aproximado del peso y centro de gravedad de la estructura .....</b>	<b>4</b>
2.1. Peso y c.d.g. del acero continuo .....	4
2.1.1. Peso y c.d.g. del acero longitudinal.....	5
2.1.2. Peso y c.d.g. del acero transversal.....	7
2.2. Pesos locales.....	9
2.2.1. Mamparos transversales .....	9
2.2.2. Puntales .....	9
2.2.3. Peso del resto de la estructura por encima de la cubierta resistente.....	9
2.3. Otros conceptos .....	10
2.4. Resumen del peso total de la estructura .....	10
<b>3. Cálculo de pesos y centro de gravedad del equipo y la habilitación .....</b>	<b>11</b>
3.1. Cálculo del peso del equipo y su centro de gravedad.....	11
3.1.1. Peso del equipo de salvamento.....	11
3.1.2. Peso del equipo contra incendios interior .....	11
3.1.3. Peso del equipo de fondeo y amarre.....	11
3.1.4. Peso del equipo de gobierno .....	11
3.1.5. Peso del equipo de navegación .....	12
3.1.6. Peso de las grúas de cubierta y equipo de manejo de anclas.....	12
3.1.7. Peso de la protección catódica .....	12
3.1.8. Peso de la pintura .....	12
3.1.9. Peso de cierres y accesos.....	12
3.1.10. Resumen y centro de gravedad del equipo.....	12
3.2. Cálculo del peso de la habilitación y su centro de gravedad.....	13
<b>4. Cálculo de pesos y centro de gravedad de maquinaria .....</b>	<b>14</b>
4.1. Peso de los grupos generadores.....	14
4.2. Peso de la maquinaria propulsora restante .....	14
4.3. Peso de otros elementos en cámara de máquinas .....	14
4.4. Peso total de la maquinaria.....	14
4.5. Centro de gravedad de la maquinaria .....	14
<b>5. Peso y centro de gravedad del buque en rosca.....</b>	<b>15</b>
<b>6. Bibliografía general .....</b>	<b>16</b>
6.1. Bibliografía básica.....	16
6.2. Bibliografía complementaria .....	16

## **Tablas**

Tabla 1. Elementos longitudinales.....	5
Tabla 2. Extrapolación del peso de los elementos longitudinales .....	6
Tabla 3. Elementos transversales.....	7
Tabla 4. Extrapolación del peso de los elementos longitudinales .....	7
Tabla 5. Peso de los mamparos .....	9
Tabla 6. Pesos y centro de gravedad de los elementos de la estructura .....	10
Tabla 7. Pesos del equipo .....	13
Tabla 8. Pesos y centro de gravedad de la habilitación .....	13
Tabla 9. Pesos y centro de gravedad del buque proyecto en rosca.....	15

## **1. Introducción**

El propósito de esta parte es determinar el peso del buque en rosca y la correspondiente posición del centro de gravedad del barco. Este cálculo es aproximado y se puede saber su valor real una vez construido el buque haciendo la experiencia de estabilidad.

El desarrollo de los cálculos del peso y centro de gravedad del buque se divide en las partes:

- Estructura.
- Equipo y habilitación.
- Maquinaria e instalaciones especiales.

## **2. Cálculo aproximado del peso y centro de gravedad de la estructura**

El cuaderno 10, *Resistencia estructural*, se toma como referencia para calcular el peso y centro de gravedad de la estructura.

Para hacer la estimación del peso del acero se empleará el método Aldwinckle, según se explica en el reglamento de Lloyd's Register. Dicho método consiste en extrapolar el peso total de la estructura a partir de la cuaderna maestra, utilizando un coeficiente que valore las formas del casco en función del perímetro y el área de cada sección:

$$W_i = a_i \cdot W_R$$

- $W_i$ : es el peso por unidad de longitud de cada sección.
- $a_i$ : es el coeficiente corrector, que en los elementos longitudinales depende del perímetro de la sección, mientras que en el caso de los elementos transversales depende del área de cada sección.
- $W_R$ : es el peso por unidad de longitud de la cuaderna de referencia.

La posición del centro de gravedad se obtendrá a partir de la posición de este en las diferentes secciones del buque:

$$X_g = \frac{\sum(x_i \cdot W_i)}{W}$$

$$Z_g = \frac{\sum(z_i \cdot W_i)}{W}$$

De forma general se puede desglosar la estructura en los siguientes elementos: fondos y dobles fondos, mamparos transversales, mamparos longitudinales, tanques estructurales, cubiertas intermedias, bloque de popa (incluyendo codaste y arbotantes), bloque de proa (incluye caja de cadenas), forro exterior ( incluye quillas de balance), cubierta superior, castillo, plataformas, brazolas de escotilla, troncos de acceso, cajas de tomas de mar, amuradas, cubiertas de habitación, mamparos exteriores de habitación, guardacalor, mamparos interiores, chimenea y castas de chigres.

### **2.1. Peso y c.d.g. del acero continuo**

Como se dijo en el cuaderno 10, la Sociedad de Clasificación considera al buque proyecto dividido en tres regiones: cuerpo de popa, cuerpo central y cuerpo de proa. A continuación se exponen los cálculos y resultados correspondientes a este apartado.

La densidad a temperatura ambiente del acero que se empleará para hacer los cálculos de este cuaderno se ha obtenido del libro *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, de William F. Smith y Javad Hashemei. Para distintas aleaciones de acero se indica en dicho libro que la densidad está en el intervalo 7,8 – 7,9 g/cm<sup>3</sup>, por lo tanto, se elige finalmente una densidad de 7,85 g/cm<sup>3</sup> (7,85 t/m<sup>3</sup>) para los cálculos del buque proyecto.

### 2.1.1. Peso y c.d.g. del acero longitudinal

El procedimiento de cálculo parte del escantillonado de la cuaderna maestra y, considerando la sección de los distintos elementos longitudinales propios de cada sistema estructural, se realiza una estimación de peso que se extrapola a lo largo de la eslora del buque. El proceso es el siguiente:

1. En primer lugar se calcula el peso por unidad de longitud de la cuaderna maestra,  $W_{LS}^{CM}$ , descrita en el cuaderno 10.

$$W_{LS}^{CM} = A_{CM}(m^2) \cdot \rho_{acero} \left( \frac{t}{m^3} \right)$$

Elemento	Nº	A (cm <sup>2</sup> )	A <sub>total</sub> (cm <sup>2</sup> )	P (t/m)	Z <sub>g</sub> (cm)	P·Z <sub>g</sub> (t)
Plancha de quilla	1	232,5	232,5	0,183	0,75	0,001
Plancha de fondo	2	682,5	1365	1,072	0,375	0,004
Plancha doble fondo	2	819	1638	1,286	150,45	1,935
Vagra crujía	1	210	210	0,165	75	0,124
Vagra doble fondo	4	165	660	0,518	75	0,389
Longitudinal fondo	26	57,39	1492,14	1,171	19,9	0,233
Longitudinal DF	26	57,39	1492,14	1,171	169,9	1,990
Planchas costado	4	850	3400	2,669	425	11,343
<b>Longitudinales forro</b>						
L1	1	105	105	0,082	374	0,308
L2	1	105	105	0,082	487	0,401
L3	1	105	105	0,082	713	0,588
L4	1	105	105	0,082	826	0,681
Plancha cubierta carga	2	840	1680	1,319	600,4	7,918
Longitudinal cub. Carga	27	38,65	1043,55	0,819	583,99	4,784
Plancha cub. intemperie	2	1177	2354	1,848	940,55	17,380
Longitudinal cub. Intem.	25	80,7	2017,5	1,584	917,14	14,525
Esloras cub. intemperie	2	311	622	0,488	906	4,424
Longitudinal cub. Acom.	8	27,6	220,8	0,173	1228,17	2,129
<b>Longitudinales amuras</b>						
L5	1	27,6	27,6	0,022	1040	0,225
L6	1	27,6	27,6	0,022	1140	0,247
<b>TOTAL</b>			<b>18902,83</b>	<b>14,839</b>		<b>69,629</b>

Tabla 1. Elementos longitudinales



2. A continuación, se calcula el peso por unidad de longitud de cada sección en función del perímetro. Es decir:

$$W_{LS}^i = \frac{p_i}{p_{CM}} \cdot W_{LS}^{CM}$$

- $W_{LS}^i$ : peso por unidad de longitud de la sección i.
- $\frac{p_i}{p_{CM}}$ : relación entre los perímetros de la sección i y de la sección maestra.

Cuaderna	X <sub>g</sub> (m)	p <sub>i</sub> (m)	p <sub>i</sub> /p <sub>CM</sub>	W <sub>LS</sub> <sup>i</sup> (t/m)
<b>0 (Ppp)</b>	0	51,28	0,8841	13,119
<b>1</b>	4,07	50,75	0,8750	12,984
<b>2</b>	8,14	51,65	0,8905	13,214
<b>3</b>	12,21	52,77	0,9098	13,501
<b>4</b>	16,28	53,7	0,9259	13,739
<b>5</b>	20,35	54,82	0,9452	14,025
<b>6</b>	24,42	56,06	0,9666	14,342
<b>7</b>	28,49	57,63	0,9936	14,744
<b>8</b>	32,56	58,77	1,0133	15,036
<b>9</b>	36,63	58,54	1,0093	14,977
<b>10</b>	40,7	58	1,0000	14,839
<b>11</b>	44,77	55,73	0,9609	14,258
<b>12</b>	48,84	53,79	0,9274	13,762
<b>13</b>	52,91	48,71	0,8398	12,462
<b>14</b>	56,98	47,42	0,8176	12,132
<b>15</b>	61,05	43,32	0,7469	11,083
<b>16</b>	65,12	38,86	0,6700	9,942
<b>17</b>	69,19	33,52	0,5779	8,576
<b>18</b>	73,26	27,1	0,4672	6,933
<b>19</b>	77,33	16,68	0,2876	4,267
<b>20 (Ppr)</b>	81,4	1,34	0,0231	0,343

Tabla 2. Extrapolación del peso de los elementos longitudinales

3. Se integra el peso utilizando el método de Simpson. Las secciones coinciden con las cuadernas del plano de formas (21). La integral de Simpson de tres puntos se calcula según la expresión:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} \left( f(a) + 4 \cdot f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right)$$

Calculando entonces el peso del acero longitudinal por el método de Simpson, se obtiene:

$$\Delta_{\text{acero longitudinal}} = 983,4 \text{ t}$$

4. La posición del centro de gravedad de este peso se calcula mediante las expresiones:

$$X_g = \frac{\sum_0^{20} (X_g(i) \cdot W(i))}{\sum_0^{20} (W(i))} = 35,01 \text{ m}$$

$$Z_g = \frac{\sum_0^{20} (Z_g(i) \cdot W(i))}{\sum_0^{20} (W(i))} = 4,69 \text{ m}$$

### 2.1.2. Peso y c.d.g. del acero transversal

A diferencia de los elementos longitudinales, los elementos transversales se calculan a partir del área de las distintas secciones consideradas.

El procedimiento de cálculo es parecido al anterior.

- Se calcula el peso por unidad de longitud de la cuaderna maestra  $W_{TS}^{CM}$ . Para ello se calcula el volumen de la estructura transversal de la cuaderna maestra, se multiplica por la densidad del acero y se divide entre la distancia entre bulárcamas/varengas.

$$W_{TS}^{CM} = \frac{V_{transv}(m^3) \cdot \rho_{acero} \left( \frac{t}{m^3} \right)}{3,25 \text{ m}}$$

Elemento	Nº	V (cm³)	V <sub>total</sub> (cm³)	P (t/m)	Z <sub>g</sub> (cm)	P·Z <sub>g</sub> (t)
Varengas	2	180671,4	361342,8	0,873	75	0,655
Bulárcamas	2	8500	17000	0,041	413	0,170
Cuadernas	2	45000	90000	0,217	413	0,898
Bao cubierta carga	2	283010	566020	1,367	559,4	7,648
Bao cubierta intemperie	2	157430	314860	0,761	900,5	6,848
Consolas 2ª cubierta	2	6000	12000	0,029	524	0,152
Consolas puntales	4	6000	24000	0,058	514	0,298
<b>TOTAL</b>			<b>1349222,8</b>	<b>3,259</b>		<b>16,370</b>

Tabla 3. Elementos transversales

- El peso de las demás secciones se calcula a través de la expresión:

$$W_{TS}^i = \left( \frac{A_i}{A_{CM}} \right) \cdot W_{TS}^{CM}$$

- $W_{TS}^i$ : peso por unidad de longitud de la sección i.
- $\frac{A_i}{A_{CM}}$ : relación entre las áreas de la sección i y de la cuaderna maestra.

Cuaderna	X <sub>g</sub> (m)	a <sub>i</sub> (m)	a <sub>i</sub> /a <sub>CM</sub>	W <sub>TS</sub> <sup>i</sup> (t/m)
<b>0 (Ppp)</b>	0	94,47	0,5217	1,700
<b>1</b>	4,07	103,94	0,5740	1,871

<b>2</b>	8,14	113,25	0,6254	2,038
<b>3</b>	12,21	122,94	0,6789	2,213
<b>4</b>	16,28	133,23	0,7358	2,398
<b>5</b>	20,35	143,94	0,7949	2,590
<b>6</b>	24,42	156,19	0,8625	2,811
<b>7</b>	28,49	171,19	0,9454	3,081
<b>8</b>	32,56	182,02	1,0052	3,276
<b>9</b>	36,63	182,47	1,0077	3,284
<b>10</b>	40,7	181,08	1,0000	3,259
<b>11</b>	44,77	177,99	0,9829	3,203
<b>12</b>	48,84	153,76	0,8491	2,767
<b>13</b>	52,91	127,86	0,7061	2,301
<b>14</b>	56,98	117,45	0,6486	2,114
<b>15</b>	61,05	104,26	0,5758	1,876
<b>16</b>	65,12	88,87	0,4908	1,599
<b>17</b>	69,19	70,16	0,3875	1,263
<b>18</b>	73,26	35,65	0,1969	0,642
<b>19</b>	77,33	3,13	0,0173	0,056
<b>20 (Ppr)</b>	81,4	0,63	0,0035	0,011

Tabla 4. Extrapolación del peso de los elementos longitudinales

3. Se integra el peso utilizando el método de Simpson. Las secciones coinciden con las cuadernas del plano de formas. Por lo tanto, el peso del acero transversal es:

$$\Delta_{\text{acero transversal}} = 177,0 \text{ t}$$

4. El cálculo del centro de gravedad de este peso se hace igual que el de los elementos longitudinales.

$$X_g = \frac{\sum_0^{20} (X_g(i) \cdot W(i))}{\sum_0^{20} (W(i))} = 34,68 \text{ m}$$

$$Z_g = \frac{\sum_0^{20} (Z_g(i) \cdot W(i))}{\sum_0^{20} (W(i))} = 5,02 \text{ m}$$

Como conclusión de este apartado se indica el peso total del acero continuo:

Peso acero continuo longitudinal:  $\Delta_{\text{acero longitudinal}} = 983,4 \text{ t}$ .

Peso acero continuo transversal:  $\Delta_{\text{acero transversal}} = 177,0 \text{ t}$ .

Peso acero continuo:  $\Delta_{\text{acero continuo}} = 1160,4 \text{ t}$

## 2.2. Pesos locales

En este apartado se estiman los pesos de los mamparos transversales, los puntales, los tanques no incorporados en la estructura, los piques de proa y popa, etc.

### 2.2.1. Mamparos transversales

El peso de esta partida se puede calcular, tal como dice la referencia [1], si se dispone del mamparo tipo escantillonado, para los restantes mamparos se supone que el peso es proporcional al área. Otra posibilidad es calcular el área de los mamparos y usar una densidad superficial media, por ejemplo del método de Carsten.

Para estimar el peso de los mamparos se considera que la densidad superficial es de  $127,5 \text{ kg/m}^2$ . En esta tabla se muestran los resultados:

	P (t)	X <sub>g</sub> (m)	Z <sub>g</sub> (m)
<b>Mamparo pique pp</b>	19,89	3,25	5,7
<b>Mamparo pp CCMM</b>	25,03	42,25	4,4
<b>Mamparo pr CCMM</b>	12,28	66,3	5,2
<b>Mamparo pique pr</b>	4,93	71,5	7,7
<b>TOTAL</b>	<b>62,13</b>	<b>36,84</b>	<b>5,24</b>

Tabla 5. Peso de los mamparos

### 2.2.2. Puntales

Se hace la estimación de  $120 \text{ kg/m}$  para el cálculo del peso de los puntales. Por lo tanto, aproximadamente esta partida será de:

$$\Delta_{\text{puntales}} = 10,2 \text{ t}$$

Y el centro de gravedad:

$$X_g = 36,0 \text{ m}$$

$$Z_g = 5,14 \text{ m}$$

### 2.2.3. Peso del resto de la estructura por encima de la cubierta resistente

Esta partida a su vez se divide en peso de superestructuras y casetas y otros pesos estructurales, como amuradas. Para el cálculo de estos pesos se puede utilizar una densidad volumétrica.

Se estima el peso de la superestructura a través de la expresión:

$$\Delta_{superestructura} = 0,1185 \cdot V_s = 346,9 \text{ t}$$

Y el centro de gravedad:

$$X_g = 58,50 \text{ m}$$

$$Z_g = 17,30 \text{ m}$$

### 2.3. Otros conceptos

Se añade un margen al peso total del acero por cada uno de los siguientes conceptos:

- Soldadura: 3,5 %.
- Pintura: 1,5 %.
- Margen global de acero: 8 %.

### 2.4. Resumen del peso total de la estructura

	P (t)	X <sub>g</sub> (m)	Y <sub>g</sub> (m)	Z <sub>g</sub> (m)
<b>Acero longitudinal</b>	983,4	35,01	0	4,69
<b>Acero transversal</b>	177,0	34,68	0	5,02
<b>Mamparos</b>	62,13	36,84	0	5,24
<b>Puntales</b>	10,2	36,0	0	5,14
<b>Superestructura</b>	346,9	58,50	0	17,30
<b>Soldadura (3,5 %)</b>	55,3	-	-	-
<b>Pintura (1,5 %)</b>	23,7	-	-	-
<b>Margen acero (8 %)</b>	126,4	-	-	-
<b>TOTAL</b>	1784,9	35,58	0	6,66

Tabla 6. Pesos y centro de gravedad de los elementos de la estructura

Con lo cual, el peso total de la estructura es:

$$P_{estructura} = 1784,9 \text{ t}$$

Y el centro de gravedad de la misma es:

$$X_g = 35,58 \text{ m}$$

$$Y_g = 0 \text{ m}$$

$$Z_g = 6,66 \text{ m}$$

### **3. Cálculo de pesos y centro de gravedad del equipo y la habilitación**

#### **3.1. Cálculo del peso del equipo y su centro de gravedad**

En la etapa del proyecto en la que se conocen las dimensiones principales tentativas del buque, se calculan el peso del equipo y de la habilitación mediante fórmulas que aproximan estos valores.

##### **3.1.1. Peso del equipo de salvamento**

Se estima el peso del equipo de salvamento en función del número de tripulantes a bordo a través de la expresión siguiente:

$$P_{salvamento} = 12 + 0,01 \cdot N = 12 + 0,01 \cdot 45pers = 12,5 t$$

##### **3.1.2. Peso del equipo contra incendios interior**

Este peso se estima en función del volumen de la cámara de máquinas mediante la siguiente expresión:

$$P_{CI interior} = 0,0025 \cdot V_{CM} + 1 = 0,0025 \cdot 4196m^3 + 1 = 11,5 t$$

##### **3.1.3. Peso del equipo de fondeo y amarre**

En el cuaderno 8 se indicó que el buque proyecto se equipa con dos anclas de 4320 kg, aceptándose una tolerancia en dicho peso del 7% según establece la Sociedad de Clasificación. El resto de equipos de fondeo y amarre se estima, a partir de buques similares, en 43t. De este modo el peso total considerado asciende a 51,2 t.

##### **3.1.4. Peso del equipo de gobierno**

Como se dijo en el cuaderno 6, *Cálculo de potencia y proyecto de propulsores*, el peso de cada unidad de propulsión Azipod CO1400 es de 59 t.

Por otro lado, cada propulsor transversal de la casa Wärtsilä, modelo CT/FT200M, tiene un peso de 8,1 t.

### 3.1.5. Peso del equipo de navegación

El peso total de los equipos que forman el sistema de navegación se estima en 3 t.

### 3.1.6. Peso de las grúas de cubierta y equipo de manejo de anclas

El peso total de esta partida se estima mediante los valores que tienen buques similares, por lo tanto, 200 t.

### 3.1.7. Peso de la protección catódica

El peso de la protección catódica del casco se estima mediante la siguiente expresión:

$$P_{catódica} = 0.0004 \cdot A_{SM} \cdot a \cdot y$$

- $P_{catódica}$ : peso de la protección catódica (toneladas).
- $A_{SM}$ : área de la superficie mojada (2289,2 m<sup>2</sup>).
- $a$ : parámetro dependiente del material (zinc, 1).
- $y$ : número de años de protección (2 años).

Por lo tanto, el peso de la protección catódica es 1,8 toneladas.

### 3.1.8. Peso de la pintura

Se estima como el 1 % del peso del acero calculado:

$$P_{pintura} = 0,01 \cdot P_{AT} = 0,008 \cdot 1784,9t = 14,3 t$$

### 3.1.9. Peso de cierres y accesos

El peso de cierres y accesos se estima en 20 toneladas.

### 3.1.10. Resumen y centro de gravedad del equipo

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos del cálculo de pesos del equipo.

	<b>P (t)</b>
<b>Equipo de salvamento</b>	12,5
<b>Equipo contra incendios interior</b>	11,5
<b>Equipo de fondeo y amarre</b>	51,2
<b>Equipo de gobierno</b>	134,2
<b>Equipo de navegación</b>	3,0
<b>Grúas de cubierta y equipo de manejo de anclase</b>	200
<b>Protección catódica</b>	1,8
<b>Pintura</b>	14,3
<b>Cierres y accesos</b>	20
<b>Margen (10 %)</b>	44,9
<b>TOTAL</b>	<b>493,4</b>

Tabla 7. Pesos del equipo

La ordenada del centro de gravedad del equipo para esloras menores de 125 metros se estima, según la referencia [1], mediante la siguiente expresión:

$$Z_g = D + 1,25 = \mathbf{10,65\ m}$$

Por otro lado, la abscisa del centro de gravedad del equipo se estima en:

$$X_g = \mathbf{45,5\ m}$$

### 3.2. Cálculo del peso de la habitación y su centro de gravedad

Para el cálculo del peso de la habitación se obtiene una buena aproximación con las densidades superficiales recomendadas en la referencia [1], según el tipo de local.

- Camarotes: 135 kg/m<sup>2</sup>.
- Aseos: 250 kg/m<sup>2</sup>.
- Comedor y salón: 120 kg/m<sup>2</sup>.
- Pasillos: 80 kg/m<sup>2</sup>.
- Cocina: 200 kg/m<sup>2</sup>.
- Oficina: 215 kg/m<sup>2</sup>.
- Pañoles: 215 kg/m<sup>2</sup>.
- Gambuza seca: 60 kg/m<sup>2</sup>.
- Gambuza refrigerada: 190 kg/m<sup>2</sup>.
- Lavandería: 150 kg/m<sup>2</sup>.

Por lo tanto, el peso y el centro de gravedad de la habitación, considerando las partidas anteriores es el que se resume a continuación en esta tabla:

<b>P (t)</b>	<b>X<sub>g</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>g</sub> (m)</b>	<b>Z<sub>g</sub> (m)</b>
155,9	58,5	0	15,5

Tabla 8. Pesos y centro de gravedad de la habitación



## **4. Cálculo de pesos y centro de gravedad de maquinaria**

Se suele descomponer el peso de la maquinaria en varias partidas, normalmente en peso de la maquinaria propulsora y peso restante.

### **4.1. Peso de los grupos generadores**

Como se indicó en el cuaderno 7, *Planta propulsora y cámara de máquinas*, según las especificaciones indicadas en el Product Guide de los grupos electrógenos de Wärtsilä 9L34DF, el peso de cada grupo es de 84 t. Por lo tanto, al ser cuatro los grupos instalados en cámara de máquinas, el peso total es de 336 t.

### **4.2. Peso de la maquinaria propulsora restante**

Este peso se estima a partir de la expresión indicada en la referencia [1], *Proyecto básico del buque mercante*:

$$P_{resto\text{ maquinaria}} = k_m \cdot 6750^{0,7} = 0,63 \cdot 6750^{0,7} = 301,9\text{ t}$$

### **4.3. Peso de otros elementos en cámara de máquinas**

Esta partida se estima a partir de la expresión dada en la referencia [1]:

$$P_{otros} = 0,03 \cdot V_{CM} = 0,03 \cdot 4196m^3 = 125,9\text{ t}$$

### **4.4. Peso total de la maquinaria**

Considerando las tres partidas anteriores, el peso total de la maquinaria es:

$$P_{maquinaria} = 336t + 301,9t + 125,9t = \mathbf{763,8\text{ t}}$$

### **4.5. Centro de gravedad de la maquinaria**

La altura del centro de gravedad se estima mediante la siguiente expresión indicada en la referencia [1]:

$$Z_g = 0,17 \cdot T + 0,36 \cdot D = 0,17 \cdot 7,70m + 0,36 \cdot 9,40m = \mathbf{4,69\text{ m}}$$

Las posiciones longitudinal y transversal del centro de gravedad se estiman a partir del plano de disposición general siendo, por tanto:

$$X_g = 52,0 \text{ m}$$

$$Y_g = 0 \text{ m}$$

## **5. Peso y centro de gravedad del buque en rosca**

Considerando los resultados obtenidos para la estructura de acero, el equipo, la habilitación y la maquinaria, se obtiene finalmente el peso en rosca del buque y la posición de su centro de gravedad.

El peso en rosca sigue un proceso iterativo de cálculo y requiere, por ello, la utilización de un coeficiente de seguridad o margen que ampare la incertidumbre que existe en cuanto a su valor real. Este margen deberá ser tanto mayor cuanto menor sea el conocimiento que se tenga de dicho valor. En esta etapa del proyecto se ha elegido tomar un incremento del 5 % del peso en rosca y un margen de  $\pm 10 \%$  en la altura del centro de gravedad (no se establecen márgenes en la situación longitudinal del centro de gravedad ya que se ignora, en general, cuándo su influencia es negativa). Las siguientes etapas del proyecto tendrían márgenes decrecientes conforme se progresa en la definición del buque.

	<b>P (t)</b>	<b>X<sub>g</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>g</sub> (m)</b>	<b>Z<sub>g</sub> (m)</b>
<b>Estructura</b>	1784,9	35,58	0	6,66
<b>Equipo</b>	493,4	45,5	0	10,65
<b>Habilitación</b>	155,9	58,5	0	15,5
<b>Maquinaria</b>	763,8	52	0	4,69
	3198	42,15	0	7,24
<b>TOTAL</b>	<b>3357,9</b>	<b>42,15</b>	<b>0</b>	<b>7,24±0,72</b>

*Tabla 9. Pesos y centro de gravedad del buque proyecto en rosca*

Con estos resultados, se puede destacar que el valor del peso en rosca estimado en el cuaderno 2 difiere en menos del 8 % del valor estimado en esta fase del proyecto.

Como se explicó también en el cuaderno 2, el buque incluido en la base de datos *Loke Viking* es un buque similar al buque proyecto. Se conoce el valor de su desplazamiento (7900 t) y peso muerto (4500 t) y, por tanto, de su peso en rosca (3400t), obtenido mediante la diferencia entre los dos anteriores. Este buque base, con el mismo peso muerto que el exigido por las especificaciones para el buque proyecto, 4500 toneladas, tiene un peso en rosca muy similar al estimado en este cuaderno.

Con lo cual, se puede concluir que la estimación hecha del peso en rosca es válida para esta fase del proyecto. No obstante, se hace notar que es una estimación y, por lo tanto, debería ajustarse mejor su valor en posteriores etapas del proyecto.

## **6. Bibliografía general.**

### **6.1. Bibliografía básica**

- [1] Manuel Meizoso Fernández, José Luis García Garcés. *Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto*. ETSIN. 2000.
- [2] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.

### **6.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. World Diamond. <> <http://www.products.damen.com/>
- [2] Wärtsilä Engines. [Guía de Producto. *Wärtsilä 34DF Product Guide*. (Disponible en <http://www.wartsila.com/>
- [4] ABB Group. [Web en línea]. <> <http://www.abb.com/>
- [5] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.



**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 12**

**Situaciones de carga y resistencia longitudinal**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Definición de situaciones de carga .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Criterios aplicables según reglamentos .....</b>	<b>6</b>
3.1. Criterios de estabilidad intacta .....	6
3.1.1. Criterios para buques de apoyo a plataformas .....	6
3.1.2. Criterio de viento y balance intensos (criterio meteorológico) .....	7
3.2. Criterios de estabilidad en averías.....	10
<b>4. Calados y estabilidades estática y dinámica para cada situación .....</b>	<b>12</b>
4.1. Buque a la salida de viaje, 100 % carga, 100 % consumos .....	12
4.1.1. Situación de carga 1 .....	12
4.1.2. Posición de equilibrio.....	15
4.1.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	16
4.2. Buque a la llegada de viaje, 100 % carga, 10 % consumos.....	18
4.2.1. Situación de carga 2 .....	18
4.2.2. Posición de equilibrio.....	21
4.2.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	21
4.3. Buque en lastre, 0 % de carga, 100 % de consumos .....	23
4.3.1. Situación de carga 3 .....	23
4.3.2. Posición de equilibrio.....	27
4.3.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	28
4.4. Buque en lastre, 0 % de carga, 10 % de consumos .....	29
4.4.1. Situación de carga 4 .....	29
4.4.2. Posición de equilibrio.....	33
4.4.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	33
4.5. Condición de remolque y manejo de anclas, 50 % de carga, 50 % de consumos y 400 t en popa.....	35
4.5.1. Situación de carga 5 .....	35
4.5.2. Posición de equilibrio.....	39
4.5.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	39
<b>5. Resistencia longitudinal: pesos, empujes, esfuerzos cortantes y momentos flectores.....</b>	<b>41</b>
5.1. Situación de carga 1 .....	42
5.2. Situación de carga 2 .....	43
5.3. Situación de carga 3 .....	44
5.4. Situación de carga 4 .....	45
5.5. Situación de carga 5 .....	46
<b>6. Estabilidad después de avería cuando lo requieren los reglamentos.....</b>	<b>47</b>
6.1. Inundación local de los Azipod CO1400.....	47
6.1.1. Situación de carga .....	47
6.1.2. Posición de equilibrio.....	51
6.1.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	51
6.2. Inundación compartimento de carga .....	53
6.2.1. Situación de carga .....	53

6.2.2. Posición de equilibrio.....	57
6.2.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	57
6.3. Inundación cámara de máquinas .....	59
6.3.1. Situación de carga .....	59
6.3.2. Posición de equilibrio.....	63
6.3.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	63
6.4. Inundación sala de hélices de proa .....	65
6.4.1. Situación de carga .....	65
6.4.2. Posición de equilibrio.....	69
6.4.3. Estabilidad a grandes ángulos .....	69
<b>7. Tabla resumen y análisis de las situaciones de carga .....</b>	<b>71</b>
<b>8. Bibliografía general .....</b>	<b>73</b>
8.1. Bibliografía básica.....	73
8.2. Bibliografía complementaria .....	73

## **Figuras**

Figura 1. Viento y balance intensos.....	8
--	---

## **Gráficos**

Gráfico 1. Curva GZ para la situación de carga 1 .....	17
Gráfico 2. Curva GZ para la situación de carga 2 .....	23
Gráfico 3. Curva GZ para la situación de carga 3 .....	29
Gráfico 4. Curva GZ para la situación de carga 4 .....	35
Gráfico 5. Curva GZ para la situación de carga 5 .....	41
Gráfico 6. Curva GZ para la avería de local de los Azipod CO1400 inundado .....	53
Gráfico 7. Curva GZ para la avería de compartimento de carga inundado .....	59
Gráfico 8. Curva GZ para la avería de cámara de máquinas inundada .....	65
Gráfico 9. Curva GZ para la avería de sala de hélices de proa inundada .....	71

## **Tablas**

Tabla 1. Situaciones de carga del buque proyecto .....	5
Tabla 2. Valores de los factores $X_1$ , $X_2$ y $k$ .....	9
Tabla 3. Valores del factor $s$ .....	9
Tabla 4. Permeabilidad de los espacios averiados .....	10
Tabla 5. Situación de carga 1 .....	13
Tabla 6. Equilibrio para la situación de carga 1 .....	15
Tabla 7. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 1 .....	16
Tabla 8. Situación de carga 2 .....	18
Tabla 9. Equilibrio para la situación de carga 2 .....	21
Tabla 10. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 2 .....	22
Tabla 11. Situación de carga 3 .....	23
Tabla 12. Equilibrio para la situación de carga 3 .....	27
Tabla 13. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 3 .....	28
Tabla 14. Situación de carga 4 .....	29
Tabla 15. Equilibrio para la situación de carga 4 .....	33
Tabla 16. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 4 .....	34
Tabla 17. Situación de carga 5 .....	35
Tabla 18. Equilibrio para la situación de carga 5 .....	39
Tabla 19. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 5 .....	40
Tabla 20. Resistencia longitudinal para la situación de carga 1 .....	42
Tabla 21. Resistencia longitudinal para la situación de carga 2 .....	43
Tabla 22. Resistencia longitudinal para la situación de carga 3 .....	44
Tabla 23. Resistencia longitudinal para la situación de carga 4 .....	45
Tabla 24. Resistencia longitudinal para la situación de carga 5 .....	46
Tabla 25. Situación de carga 1 con el local de propulsores Azipod CO1400 inundado .....	47
Tabla 26. Equilibrio con el local de los Azipod CO1400 inundado .....	51
Tabla 27. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de local de los Azipod CO1400 inundado .....	52
Tabla 28. Situación de carga 1 con la zona de carga inundada .....	53
Tabla 29. Equilibrio con la zona de carga inundada .....	57
Tabla 30. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de zona de carga inundada .....	58
Tabla 31. Situación de carga 1 con la cámara de máquinas inundada .....	59
Tabla 32. Equilibrio con la cámara de máquinas inundada .....	63
Tabla 33. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de cámara de máquinas inundada .....	64
Tabla 34. Situación de carga 1 con la inundación del local de las hélices de proa .....	65
Tabla 35. Equilibrio con la sala de hélices de proa inundada .....	69
Tabla 36. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de local hélices de proa inundado .....	70
Tabla 37. Resumen de las situaciones de carga .....	72

## **1. Introducción**

El objetivo de este cuaderno es valorar el comportamiento del buque en la mar en diferentes situaciones de carga, conforme a los criterios aplicables según los reglamentos. De este modo se analiza la viabilidad del proyecto desde el punto de vista de la estabilidad, las condiciones de operación del buque y su resistencia estructural.

Mediante el software Hydromax, se lleva a cabo una aproximación con cuyos resultados se pueda confirmar si se cumplen los criterios exigidos por la normativa.

Como se indica en la normativa vigente, el cumplimiento de los criterios de estabilidad no asegura la inmunidad contra la zozobra en cualquier circunstancia, ni exime al capitán de sus responsabilidades. Por lo tanto, los capitanes deberán tener prudencia y buen sentido marino, teniendo en cuenta la estación del año, las previsiones del tiempo y la zona de navegación y deberán tomar las medidas adecuadas en cuanto a la velocidad y rumbo aconsejables, dadas las circunstancias de cada momento.

Todo buque se someterá, cuando termine su construcción, a una experiencia de estabilidad, debiendo determinarse el desplazamiento real y las coordenadas del centro de gravedad del buque en rosca.

La normativa empleada en este cuaderno es el **Código Internacional de Estabilidad sin avería**, 2008 (Código IS 2008) adoptado mediante la resolución MSC.267(85), que comprende una introducción, una parte A (cuyas disposiciones tendrán carácter obligatorio) y una parte B (cuyas disposiciones tendrán carácter de recomendación); la **Circular 2/79 de la Dirección General de la Marina Mercante**; el **Código de Seguridad aplicable a los Buques para Fines Especiales**, aprobado el 17 de Noviembre de 1983 mediante la resolución A.534(13); el **Convenio SOLAS**; y el Protocolo de 1988 relativo al **Convenio internacional sobre líneas de carga**, 1966, enmendado y modificado por MSC.270(85).



## **2. Definición de situaciones de carga**

La Circular 2/79 de la Dirección General de la Marina Mercante y el Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), indican que para determinar si se cumplen los criterios de estabilidad, se dibujarán curvas de estabilidad para las principales condiciones de carga deseadas por el armador respecto a los trabajos a realizar por el buque. Estas condiciones de carga, en el caso del buque proyecto son las siguientes:

1. Buque a la salida de viaje completamente cargado, con carga distribuida bajo cubierta y con carga detallada en posición y peso sobre la cubierta, con el total de provisiones y combustible, correspondientes a la peor condición de servicio en que se cumplen todos los criterios de estabilidad apropiados.
2. La misma condición anterior pero con el 10 % de provisiones y combustible.
3. Buque en lastre a la salida de viaje, sin carga pero con el total de provisiones y combustible.
4. Buque en lastre al rendir viaje, sin carga y con el 10 % restante de provisiones y combustible.
5. Buque en la peor condición de servicio prevista.

Las cuatro primeras situaciones presentan las condiciones más críticas desde el punto de vista de la estabilidad y de la resistencia estructural, por lo que serán esas las que se estudien en los análisis de los siguientes apartados. Además, se añade una situación adicional para la condición de remolque y manejo de anclas con el 50 % de la carga, el 50 % de los consumos y soportando una carga de 400 toneladas en popa.

Se presentan a continuación los datos correspondientes a cada una de estas situaciones de carga del buque proyecto:

<b>Situación de carga</b>	<b>% Carga</b>	<b>% Consumos</b>
Buque a la salida de viaje	100	100
Buque a la llegada de viaje	100	10
Buque en lastre	0	100
Buque en lastre	0	10
Remolque y manejo de anclas	50 % + 400 t en popa	50

*Tabla 1. Situaciones de carga del buque proyecto*

### **3. Criterios aplicables según reglamentos**

Las disposiciones que figuran en el reglamento del Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), en el Convenio SOLAS y en la Circular 2/79 de la Dirección General de la Marina Mercante, son aplicables a los buques de suministro mar adentro de eslora igual o superior a 24 metros y a los buques para fines especiales cuyo arqueo bruto no sea inferior a 500 toneladas.

Los criterios mencionados en este apartado determinan valores mínimos, pero no valores máximos. Se recomienda evitar valores excesivos, ya que éstos pueden causar fuerzas de aceleración perjudiciales al buque, a su equipo y al transporte de la carga en condiciones de seguridad.

#### **3.1. Criterios de estabilidad intacta**

##### **3.1.1. Criterios para buques de apoyo a plataformas**

El buque proyecto debe cumplir con los criterios de estabilidad indicados en el Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), relativos a las propiedades de la curva de brazos adrizantes. Los criterios de estabilidad sin avería indicados en este código son aplicables a los buques de suministro mar adentro y a los buques para fines especiales de eslora inferior a 100 m.

1. El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) no será inferior a 0,055 metro-radián hasta un ángulo de escora  $\phi = 30^\circ$  ni inferior a 0,09 metro-radián hasta  $\phi = 40^\circ$ , o hasta el ángulo de inundación descendente  $\phi_f$  si éste es inferior a  $40^\circ$ .  
Además, el área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de  $30^\circ$  y  $40^\circ$ , o entre  $30^\circ$  y  $\phi_f$  si este ángulo es inferior a  $40^\circ$ , no será inferior a 0,03 metro-radián.
2. El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,2 m a un ángulo de escora igual o superior a  $30^\circ$ .
3. El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora que es preferible que exceda de  $30^\circ$ , pero nunca será menor que  $25^\circ$ . Si esto no es posible, podrán aplicarse, a reserva de lo que apruebe la Administración, criterios basados en un nivel de seguridad equivalente.
4. La altura metacéntrica inicial  $GM_0$  no será inferior a 0,15 m.

$\phi_f$  es el ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no hará falta considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva.

Cuando las características de un buque hagan impracticable el cumplimiento de los criterios indicados, se recomienda aplicar los siguientes criterios equivalentes para buques de suministro:

1. El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) no será inferior a 0,07 metro-radián hasta un ángulo de 15° si el brazo adrizante máximo (GZ) se da a un ángulo igual a 15° o de 0,055 metro-radián hasta un ángulo de 30° si el brazo adrizante máximo (GZ) se da a un ángulo igual o superior a 30°. Cuando el brazo adrizante máximo (GZ) se dé a un ángulo comprendido entre 15° y 30°, el área correspondiente bajo la curva de brazos adrizantes será igual a:  

$$\text{Área} = 0,055 + 0,001 (30^\circ - \varphi_{\text{max}}) \text{ metro-radián}$$
2. El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40°, o entre 30° y  $\varphi_f$  si este ángulo es inferior a 40°, no será inferior a 0,03 metro-radián.
3. El brazo adrizante (GZ) será como mínimo de 0,2 m a un ángulo de escora igual o superior a 30°.
4. El brazo adrizante máximo (GZ) se dará a un ángulo de escora no inferior a 15°.
5. La altura metacéntrica transversal inicial ( $GM_0$ ) no será inferior a 0,15 m.

$\varphi_{\text{mas}}$  es el ángulo de escora, expresado en grados, en el que la curva de brazos adrizantes alcanza su valor máximo.

### 3.1.2. Criterio de viento y balance intensos (criterio meteorológico)

Habrà que demostrar la aptitud del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance, con referencia a la figura 1, del modo siguiente:

1. Se someterà el buque a la presión de un viento constante que actúe perpendicularmente al plano de crujía, lo que dará como resultado el correspondiente brazo escorante ( $l_{w1}$ ).
2. Se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante ( $\varphi_0$ ), el buque se balancea por la acción de las olas hasta alcanzar un ángulo de balance ( $\varphi_1$ ) a barlovento. El ángulo de escora provocado por un viento constante ( $\varphi_0$ ) no deberá ser superior a 16° o al 80 % del ángulo de inmersión del borde de la cubierta, si este ángulo es menor.
3. A continuación se someterà al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultado el correspondiente brazo escorante ( $l_{w2}$ ).
4. En estas circunstancias, el área b debe ser igual o superior al área a, como se indica en la figura 1.

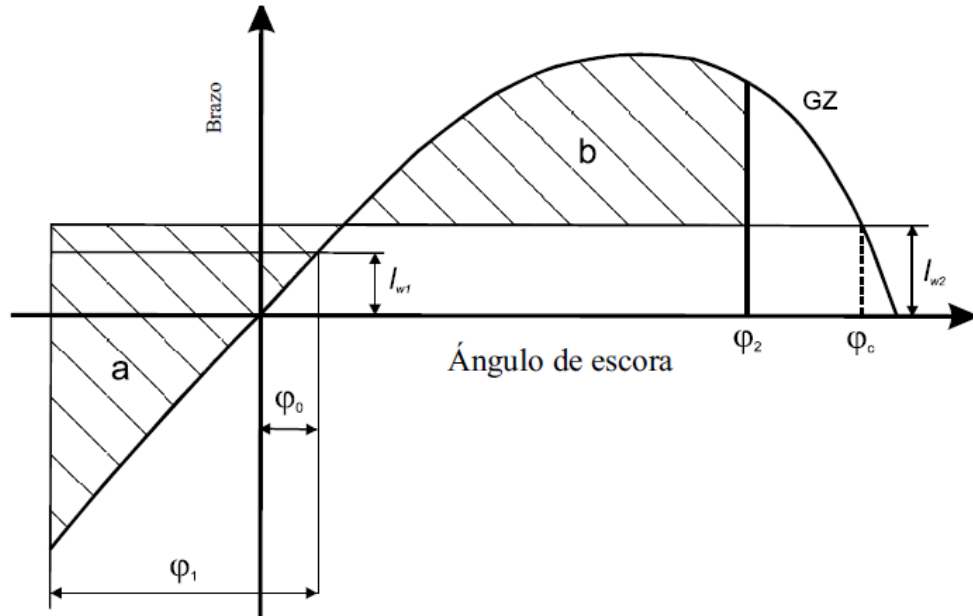


Figura 1. Viento y balance intensos

Donde los ángulos de la figura 1 se definen del modo siguiente:

- $\varphi_0$ : ángulo de escora provocado por un viento constante.
- $\varphi_1$ : ángulo de balance a barlovento debido a la acción de las olas.
- $\varphi_2$ : ángulo de inundación descendente ( $\varphi_f$ ), o  $50^\circ$ , o  $\varphi_e$ , tomando de estos valores el menor,  
siendo:
  - $\varphi_f$ : ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no hará falta considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva.
  - $\varphi_e$ : ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes  $l_{w2}$  y la de brazos GZ.

Los brazos escorantes  $l_{w1}$  y  $l_{w2}$  provocados por el viento son valores constantes a todos los ángulos de inclinación y se calcularán del modo siguiente:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1}$$

- P: presión del viento de 504 Pa.
- A: área lateral proyectada de la parte del buque y de la cubertada que quede por encima de la flotación ( $m^2$ ).

- Z: distancia vertical desde el centro del área A hasta el centro del área lateral de la obra viva, o aproximadamente hasta el punto medio del calado medio (m).
- $\Delta$ : desplazamiento (t).
- g: aceleración debida a la gravedad de 9,81 m/s<sup>2</sup>.

El ángulo de balance ( $\varphi_1$ ) a que se hace referencia se calculará del modo siguiente:

$$\varphi_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

- $X_1, X_2, k$ : factores indicados en la tabla siguiente:

$B/d$	$X_1$			$\frac{A_k \times 100}{L_{wl} \times B}$	$k$
$\leq 2,4$	1,0			0	1,0
2,5	0,98			1,0	0,98
2,6	0,96			1,5	0,95
2,7	0,95			2,0	0,88
2,8	0,93			2,5	0,79
2,9	0,91			3,0	0,74
3,0	0,90			3,5	0,72
3,1	0,88			$\geq 4,0$	0,70
3,2	0,86	$C_B$	$X_2$		
3,4	0,82	$\leq 0,45$	0,75		
$\geq 3,5$	0,80	0,50	0,82		
		0,55	0,89		
		0,60	0,95		
		0,65	0,97		
		$\geq 0,70$	1,00		

Tabla 2. Valores de los factores  $X_1, X_2$  y  $k$

- $r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{OG}{d}$ 
  - OG = KG – d.
  - d: calado medio de trazado del buque (7,70 m).
- s: factor indicado en el cuadro siguiente, donde T es el periodo natural de balance del buque. Si no se dispone de información suficiente, puede utilizarse la siguiente aproximación:

$T$	$s$
$\leq 6$	0,100
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
$\geq 20$	0,035

Tabla 3. Valores del factor  $s$

Periodo de balance:  $T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$ .

donde:  $C = 0,373 + 0,023 \cdot \left(\frac{B}{d}\right) - 0,043 \cdot \left(\frac{L_{wl}}{100}\right)$

### 3.2. Criterios de estabilidad en averías

Los cálculos de estabilidad en averías deben hacerse conforme a los criterios establecidos en el Convenio SOLAS, en el Código de Seguridad aplicable a los Buques para Fines Especiales y en el Convenio internacional sobre líneas de carga.

En un buque para fines especiales que lleve un contingente de personal especial de no más de 50 miembros, se supondrá que la avería ocurre en cualquier punto de la eslora situado entre los mamparos estancos transversales. Se supondrá que las dimensiones de la avería son las siguientes:

1. Extensión longitudinal:  $1/3L^{2/3}$  ó 14,5 m, si este valor es menor.
2. Extensión transversal:  $B/5$  ó 11,5 m, si este valor es menor (medido hacia el interior del buque, desde el costado, perpendicularmente al eje longitudinal, al nivel de la línea de carga de verano).
3. Extensión vertical: desde la línea de trazado de la chapa del forro exterior del fondo en el eje longitudinal, hacia arriba, sin límite.
4. Si una avería de dimensiones inferiores a las especificadas antes originase una condición de mayor gravedad, habrá que tenerla en cuenta también.
5. Si en la extensión de la avería supuesta se encuentran tuberías, conductos o túneles se tomarán las medidas necesarias para impedir que por causa de aquélla pueda llegar la inundación progresiva a compartimientos distintos de los que en relación con cada caso de avería se supone que se inundarán.

El cumplimiento de estos criterios será confirmado mediante cálculos que tomen en consideración las características de proyecto del buque, los medios de que disponga, la configuración y el contenido de los compartimientos averiados, la distribución de la carga seca y la distribución, el peso específico y el efecto de las superficies libres de los líquidos, y se basarán en las siguientes disposiciones:

- La permeabilidad de los espacios que se suponen averiados será la siguiente:

Espacios	Permeabilidad
Asignados a carga	Se calculará, pero no será inferior a 0,60
Asignados a pertrechos	0,60
Ocupados como alojamientos	0,95
Ocupados por maquinaria	0,85
Espacios perdidos	0,95
Destinados a líquidos	0 ò 0,95

*Tabla 4. Permeabilidad de los espacios averiados*

- Cuando la avería supuesta dé por resultado la perforación de un tanque se considerará que cualquier líquido que contenga ese tanque se ha perdido

por completo y que ha sido reemplazado por agua salada hasta el nivel del plano final de equilibrio.

Cabe considerar que el buque alcanza la norma prescrita de conservación de la flotabilidad si se satisfacen las siguientes condiciones:

1. La flotación después de avería, antes del equilibrado y/o durante el mismo, se situará por debajo del borde inferior de toda abertura por la que pueda producirse inundación progresiva. Entre esas aberturas se incluirán los tubos de aireación, los manguerotes de ventilación y las que se cierran con puertas o tapas de escotilla estancas a la intemperie; pero pueden excluirse las aberturas que se cierran con tapas de registro estancas y portillos sin brazola estancos, pequeñas tapas de escotilla estancas de tanques de carga que mantienen la firme integridad de la cubierta, puertas de corredera estancas telemandadas y portillos de tipo fijo.
2. El ángulo de escora debido a la inundación asimétrica no excederá de  $20^\circ$  antes del equilibrado y después de éste no excederá de:
  - $7^\circ$  - en el caso de inundación entre mamparos transversales estancos adyacentes.
  - $12^\circ$  - en el caso de inundación que afecte al mamparo de colisión. En situaciones especiales la Administración podrá permitir una escora adicional ocasionada por el par asimétrico, aunque en ningún caso excederá la escora final de  $15^\circ$ .
3. La altura metacéntrica inicial de un buque en la fase final de inundación, correspondiente a la posición de equilibrio estático en caso de inundación simétrica y a la de adrizado en caso de inundación asimétrica, y calculada por el método de desplazamiento constante, no será inferior a 0,05 m antes de que se hayan tomado las medidas oportunas para aumentar la altura metacéntrica.
4. La curva de brazos adrizantes en la fase final de inundación tendrá una amplitud mínima de  $20^\circ$  más allá de la posición de equilibrio, con un brazo adrizante máximo de por lo menos 100 mm dentro de esa amplitud. Las aberturas no protegidas no deberán quedar sumergidas cuando se esté dentro de este margen de estabilidad residual, a menos que el espacio de que se trate se incluya en los cálculos correspondientes a la estabilidad después de avería como espacio inundable. Dentro de ese margen podrá permitirse la inmersión de todas las aberturas enumeradas en la primera condición y de las demás que puedan cerrarse de manera estanca.
5. La Administración deberá cerciorarse de que la estabilidad y el asiento después de avería son suficientes durante las fases intermedias de inundación.

6. El buque será proyectado de modo que la inundación asimétrica quede reducida al mínimo compatible con la adopción de medidas eficaces. Los medios que se adopten para el equilibrado del buque serán automáticos en la medida de lo posible y, en todo caso, cuando se instalen mandos para los dispositivos de adrizamiento transversal, se podrán accionar desde encima de la cubierta de cierre. Todos esos dispositivos y mandos habrán de ser aceptables a juicio de la Administración.
7. Se aplicarán las prescripciones de la parte B del capítulo II-1 del Convenio SOLAS 1974 en su forma enmendada indicadas en las reglas 9, 11, 12, 15, 22, 24 y 25.

#### **4. Calados y estabilidades estática y dinámica para cada situación**

Aunque existen muchos más factores que la estabilidad en la seguridad de un buque, para la mayoría de los responsables de esta seguridad, una estabilidad satisfactoria es uno de los elementos más importantes.

Recordemos que se define la estabilidad como la aptitud que debe poseer un cuerpo para recobrar la posición de equilibrio cuando ha sido apartado de ésta por una causa fortuita.

Para determinar, en general, si se cumplen los criterios aplicables detallados en el anterior apartado, se dibujarán curvas de estabilidad para las principales condiciones de carga deseadas por el armador respecto a los trabajos a realizar por el buque.

Los cálculos para cada situación de carga se han hecho mediante el módulo Hydromax de Maxsurf.

##### **4.1. Buque a la salida de viaje, 100 % carga, 100 % consumos**

Se definirá esta situación de carga como *Situación de carga 1*.

##### **4.1.1. Situación de carga 1**

En la siguiente tabla se muestran las condiciones de llenado de tanques para la situación de carga 1.



Item Name	Quantit y	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne )	Unit Volum e (m^3)	Total Volum e (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	3982,00	3982,00			42,2	0,0	-0,5
Lastre	0%	48,46	0,00	47,28	0	35,9	0,0	-7,6
Lastre	0%	48,46	0,00	47,28	0	35,9	0,0	-7,6
MDF	100%	43,92	43,92	48,80	48,80	40,8	-3,6	-6,6
MDF	100%	43,92	43,92	48,80	48,80	40,8	3,6	-6,6
Lastre	0%	38,21	0,00	37,27	0	38,9	-7,2	-7,7
Lastre	0%	38,21	0,00	37,27	0	38,9	7,2	-7,7
MDF	100%	26,62	26,62	29,58	29,58	48,9	3,3	-6,6
MDF	100%	26,62	26,62	29,58	29,58	48,9	-3,3	-6,6
Lastre	0%	15,84	0,00	15,45	0	45,8	-6,5	-7,6
Lastre	0%	15,84	0,00	15,45	0	45,8	6,5	-7,6
Aceite sucio	100%	18,57	18,57	20,70	20,70	55,4	-2,3	-6,6
Aguas residuales	100%	16,23	16,23	16,23	16,23	55,7	-5,4	-6,8
Aguas residuales	100%	16,23	16,23	16,23	16,23	55,7	5,4	-6,8
Aguas aceitosas	100%	6,21	6,21	6,21	6,21	59,7	-2,3	-6,6
Lodos	100%	11,17	11,17	11,83	11,83	55,4	1,3	-6,6
Sentinas	100%	8,87	8,87	8,87	8,87	55,4	3,6	-6,6
Reboses	100%	5,59	5,59	6,21	6,21	59,7	2,3	-6,6
MDF	100%	12,78	12,78	14,20	14,20	64,5	-1,3	-6,6
MDF	100%	12,78	12,78	14,20	14,20	64,5	1,3	-6,6
Aguas residuales	100%	12,10	12,10	12,10	12,10	64,7	-3,4	-6,7
Aguas residuales	100%	12,10	12,10	12,10	12,10	64,7	3,4	-6,7
Lastre	100%	43,03	43,03	41,98	41,984	77,0	-0,9	-3,9
Lastre	100%	43,03	43,03	41,98	41,984	77,0	0,9	-3,9
Lastre	100%	14,14	14,14	13,80	13,795	79,4	-0,8	0,2
Lastre	100%	14,14	14,14	13,80	13,795	79,4	0,8	0,2
Lastre	0%	15,50	0,00	15,12	0	6,6	-7,8	-3,4
Lastre	0%	15,50	0,00	15,12	0	6,6	7,8	-3,4
Lastre	0%	38,80	0,00	37,85	0	3,6	-9,7	-1,7
Lastre	0%	38,80	0,00	37,85	0	3,6	9,7	-1,7
Agua dulce	100%	33,77	33,77	33,77	33,77	3,4	-8,4	0,0
Agua dulce	100%	33,77	33,77	33,77	33,77	3,4	8,4	0,0
Lastre	0%	14,17	0,00	13,82	0	46,4	-9,2	-6,2
Lastre	0%	14,17	0,00	13,82	0	46,4	9,2	-6,2
Aguas residuales	100%	45,30	45,30	45,30	45,30	48,3	8,1	-3,9
Aguas residuales	100%	45,30	45,30	45,30	45,30	48,3	-8,1	-3,9
Lastre	0%	11,14	0,00	10,87	0	56,7	-7,2	-5,9
Lastre	0%	11,14	0,00	10,87	0	56,7	7,2	-5,9
Agua dulce	100%	42,52	42,52	42,52	42,52	64,2	-5,5	-3,3
Agua dulce	100%	42,52	42,52	42,52	42,52	64,2	5,5	-3,3
MDF	100%	25,86	25,86	28,73	28,73	47,3	-1,3	0,0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

MDF	100%	25,86	25,86	28,73	28,73	47,3	1,3	0,0
Sedimentación	100%	31,03	31,03	34,48	34,48	48,3	-8,1	0,0
Sedimentación	100%	31,03	31,03	34,48	34,48	48,3	8,1	0,0
Servicio diario MDF	100%	14,55	14,55	16,16	16,16	52,2	-8,0	0,0
Servicio diario MDF	100%	14,55	14,55	16,16	16,16	52,2	8,0	0,0
Almacén aceite cilindros	100%	3,54	3,54	3,95	3,95	54,3	-7,7	0,0
Almacén aceite cilindros	100%	3,54	3,54	3,95	3,95	54,3	7,7	0,0
Servicio diario aceite cilindro	100%	2,00	2,00	2,23	2,23	55,1	-7,7	0,0
Servicio diario aceite cilindro	100%	2,00	2,00	2,23	2,23	55,1	7,7	0,0
Lastre	0%	20,24	0,00	19,75	0	47,9	-9,6	-1,7
Lastre	0%	20,24	0,00	19,75	0	47,9	9,6	-1,7
Lastre	0%	15,56	0,00	15,18	0	53,2	-8,9	-1,7
Lastre	0%	15,56	0,00	15,18	0	53,2	8,9	-1,7
Almacén aceite motores	100%	7,52	7,52	8,38	8,38	56,1	-8,1	0,2
Almacén aceite motores	100%	7,52	7,52	8,38	8,38	56,1	8,1	0,2
Almacén aceite motores	100%	29,00	29,00	32,33	32,33	59,4	-7,4	0,2
Almacén aceite motores	100%	29,00	29,00	32,33	32,33	59,4	7,4	0,2
Agua dulce	100%	49,73	49,73	49,73	49,73	66,2	-5,6	0,2
Agua dulce	100%	49,73	49,73	49,73	49,73	66,2	5,6	0,2
Agua dulce	100%	48,59	48,59	48,59	48,59	72,0	-3,4	0,1
Agua dulce	100%	48,59	48,59	48,59	48,59	72,0	3,4	0,1
Lastre	100%	12,13	12,13	11,84	11,838	76,2	-2,6	0,3
Lastre	100%	12,13	12,13	11,84	11,838	76,2	2,6	0,3
MDF	100%	433,97	433,97	482,19	482,19	36,9	-4,5	-4,0
MDF	100%	433,97	433,97	482,19	482,19	36,9	4,5	-4,0
MDF	100%	79,85	79,85	88,73	88,73	11,6	-4,6	-2,2
MDF	100%	79,85	79,85	88,73	88,73	11,6	4,6	-2,2
Lastre	0%	64,86	0,00	63,27	0	40,3	-9,2	-6,2
Lastre	0%	64,86	0,00	63,27	0	40,3	9,2	-6,2
Lastre	0%	73,50	0,00	71,71	0	34,1	-9,2	-6,2
Lastre	0%	73,50	0,00	71,71	0	34,1	9,2	-6,2
Lastre	0%	45,14	0,00	44,04	0	30,0	-9,1	-6,1
Lastre	0%	45,14	0,00	44,04	0	30,0	9,1	-6,1
Lastre	0%	25,05	0,00	24,44	0	21,6	-9,1	-4,8
Lastre	0%	25,05	0,00	24,44	0	21,6	9,1	-4,8
Lastre	0%	15,37	0,00	15,00	0	14,4	-9,1	-4,0
Lastre	0%	15,37	0,00	15,00	0	14,4	9,1	-4,0
Lastre	0%	122,15	0,00	119,17	0	16,4	0,0	-4,7
Lastre	0%	122,15	0,00	119,17	0	16,4	0,0	-4,7
Lastre	0%	29,67	0,00	28,94	0	41,1	-9,9	-1,7
Lastre	0%	29,67	0,00	28,94	0	41,1	9,9	-1,7
Lastre	0%	50,89	0,00	49,65	0	34,3	-10,0	-1,7
Lastre	0%	50,89	0,00	49,65	0	34,3	10,0	-1,7

Agua dulce	100%	49,61	49,61	49,61	49,61	25,9	-10,0	0,0
Agua dulce	100%	49,61	49,61	49,61	49,61	25,9	10,0	0,0
Lastre	0%	43,17	0,00	42,11	0	18,1	-10,0	-1,7
Lastre	0%	43,17	0,00	42,11	0	18,1	10,0	-1,7
Lastre	0%	47,08	0,00	45,93	0	10,7	-9,9	-1,7
Lastre	0%	47,08	0,00	45,93	0	10,7	9,9	-1,7
MDF	100%	109,89	109,89	122,10	122,10	38,2	-7,5	0,0
MDF	100%	109,89	109,89	122,10	122,10	38,2	7,5	0,0
Liquid mud	100%	125,84	125,84	50,34	50,34	40,9	-4,6	0,0
Liquid mud	100%	125,84	125,84	50,34	50,34	40,9	4,6	0,0
Liquid mud	100%	261,22	261,22	104,49	104,49	10,6	-7,1	0,0
Liquid mud	100%	261,22	261,22	104,49	104,49	10,6	7,1	0,0
Agua dulce	100%	81,15	81,15	81,15	81,15	10,6	-2,8	0,0
Agua dulce	100%	81,15	81,15	81,15	81,15	10,6	2,8	0,0
Cadenas/Lodos/Salmue ra	100%	233,86	233,86	254,20	254,20	26,2	-4,7	-2,1
Cadenas/Lodos/Salmue ra	100%	233,86	233,86	254,20	254,20	26,2	4,7	-2,1
Metanol	100%	114,46	114,46	143,08	143,08	19,7	-4,7	-1,7
Metanol	100%	114,46	114,46	143,08	143,08	19,7	4,7	-1,7
Cemento	100%	42,85	42,85	38,96	38,96	32,7	-3,3	0,0
Cemento	100%	42,85	42,85	38,96	38,96	32,7	3,3	0,0
Cemento	100%	42,85	42,85	38,96	38,96	22,9	0,0	0,0
Cemento	100%	42,85	42,85	38,96	38,96	18,4	0,0	0,0
Lastre	0%	20,09	0,00	19,60	0,00	44,6	-9,4	-6,2
Lastre	0%	20,09	0,00	19,60	0,00	44,6	9,4	-6,2
Total Loadcase			8212,2 5	5503,72	4030,78	38,0	0,0	-1,2
FS correction								0,0
VCG fluid								-1,2

Tabla 5. Situación de carga 1

#### 4.1.2. Posición de equilibrio

Equilibrio Situación 1	
Draft Amidships m	7,443
Displacement t	8212
Heel deg	0
Draft at FP m	7,101
Draft at AP m	7,784
Draft at LCF m	7,494
Trim (+ve by stern) m	0,682
WL Length m	81,503
Beam max extents on WL m	21,7
Wetted Area m <sup>2</sup>	2162,864

Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1459,266
Prismatic coeff. (Cp)	0,634
Block coeff. (Cb)	0,608
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,962
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,825
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,954
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	34,569
KB m	4,434
KG fluid m	6,516
BMt m	6,112
BML m	78,65
GMt corrected m	4,03
GML m	76,567
KMt m	10,546
KML m	83,081
Immersion (TPc) tonne/cm	14,957
MTc tonne.m	77,15
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	577,542
Max deck inclination deg	0,4796
Trim angle (+ve by stern) deg	0,4796

Tabla 6. Equilibrio para la situación de carga 1

#### 4.1.3. Estabilidad a grandes ángulos

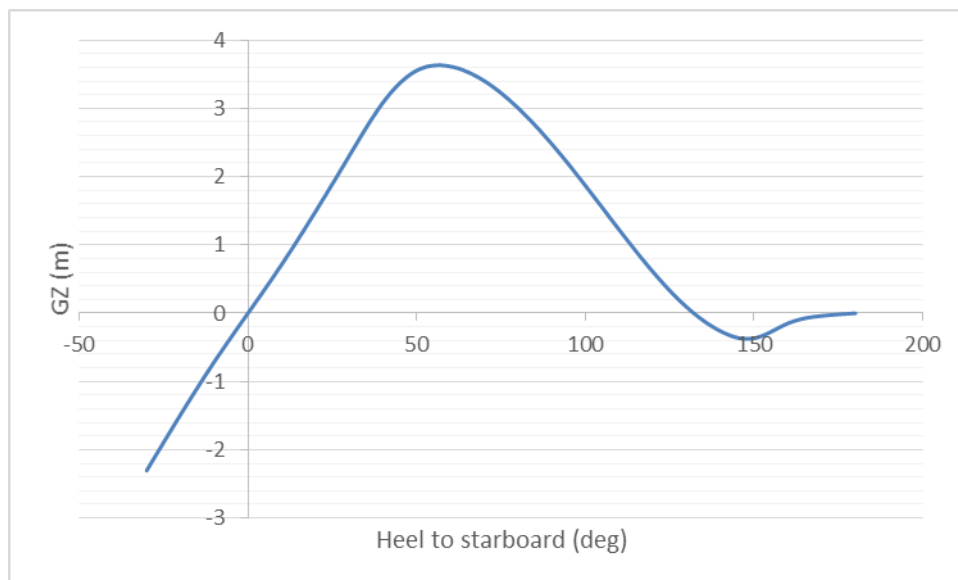
Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque a la salida de viaje, 100 % de carga y 100 % de consumos.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,30	- 1,49	- 0,72	0,00	0,71	1,49	2,30	3,08	3,56	3,62
Area under GZ curve from zero heel m.deg	33,4 5	14,5 1	3,54	0,00	3,54	14,5 0	33,4 3	60,5 0	94,0 3	130, 17
Displacement t	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
Draft at FP m	6,84	6,96	7,07	7,10	7,07	6,96	6,83	6,68	6,35	5,81
Draft at AP m	7,49	7,75	7,79	7,78	7,79	7,75	7,49	6,76	5,57	3,78
WL Length m	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5
Beam max extents on WL m	24,1	23,1	22,0	21,7	22,0	23,1	24,1	24,2	20,4	18,1
Wetted Area m <sup>2</sup>	2183 ,13	2179 ,07	2165 ,61	2162 ,88	2165 ,61	2179 ,07	2183 ,12	2192 ,45	2224 ,81	2246 ,77
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1560 ,33	1530 ,69	1480 ,05	1459 ,28	1480 ,05	1530 ,69	1560 ,41	1575 ,43	1416 ,44	1299 ,85
Prismatic coeff. (Cp)	0,66	0,64	0,64	0,63	0,64	0,64	0,66	0,68	0,70	0,71
Block coeff. (Cb)	0,40	0,45	0,52	0,61	0,52	0,45	0,40	0,38	0,45	0,52
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,9 6	37,9 5	37,9 5	37,9 6	37,9 5	37,9 5	37,9 5	37,9 7	38,0 0	38,0 3

LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,92	35,60	34,72	34,57	34,72	35,60	36,92	38,29	40,19	41,37
Max deck inclination deg	30,00	20,01	10,01	0,48	10,01	20,01	30,00	40,00	50,00	60,00
Trim angle (+ve by stern) deg	0,46	0,55	0,51	0,48	0,51	0,55	0,46	0,06	-0,55	-1,43

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,40	3,01	2,48	1,87	1,22	0,61	0,09	-0,26	-0,37	-0,15	-0,04	0,00
165,44	197,63	225,16	246,96	262,42	271,51	274,88	273,87	270,44	267,78	266,98	266,80
8212	8212	8212	8212	8212	8213	8212	8212	8212	8212	8212	8212
4,83	1,97	n/a	13,76	11,05	10,27	10,01	10,02	10,22	10,47	10,63	10,67
0,41	-9,26	n/a	27,89	18,14	14,69	12,83	11,67	11,02	10,85	10,81	10,79
81,49	83,51	84,83	84,94	83,98	82,06	81,73	81,71	81,73	81,78	81,81	81,82
16,82	16,32	15,82	15,92	16,66	18,05	19,66	21,18	22,57	23,08	22,04	21,70
2263,83	2277,05	2285,11	2291,17	2300,27	2316,50	2347,98	2406,47	2506,03	2591,06	2602,99	2600,35
1229,08	1190,30	1165,55	1165,60	1194,38	1254,13	1342,12	1452,91	1592,60	1633,60	1576,69	1578,29
0,72	0,72	0,72	0,73	0,75	0,79	0,82	0,86	0,89	0,90	0,91	0,91
0,58	0,62	0,68	0,60	0,54	0,49	0,45	0,43	0,44	0,50	0,66	0,75
38,07	38,10	38,14	38,17	38,17	38,16	38,13	38,08	38,03	38,00	37,99	37,98
42,26	42,83	42,70	42,26	41,62	40,73	39,62	38,44	37,21	36,20	36,46	36,86
70,00	80,00	90,00	100,00	109,99	119,99	129,99	139,99	150,00	160,00	170,00	179,92
-3,10	-7,84	90,00	-9,83	-4,97	-3,10	-1,98	-1,16	-0,56	-0,27	-0,12	-0,08

Tabla 7. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 1



Gráfica 1. Curva GZ para la situación de carga 1

Max GZ = 3,633 m at 56,4 deg.

## 4.2. Buque a la llegada de viaje, 100 % carga, 10 % consumos

Se definirá esta situación de carga como *Situación de carga 2*.

### 4.2.1. Situación de carga 2

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)
Lightship	1	3982	3982			42,2	0,0	-0,5	0
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,9	0,0	-7,6	0
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,9	0,0	-7,6	0
MDF	10%	43,919	4,392	48,799	4,88	40,8	-3,6	-6,9	267,291
MDF	10%	43,919	4,392	48,799	4,88	40,8	3,6	-6,9	267,291
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,9	-7,2	-7,7	0
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,9	7,2	-7,7	0
MDF	10%	26,617	2,662	29,575	2,957	48,9	3,3	-6,9	133,88
MDF	10%	26,617	2,662	29,575	2,957	48,9	-3,3	-6,9	133,88
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,8	-6,5	-7,6	0
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,8	6,5	-7,6	0
Aceite sucio	100%	18,57	18,57	20,702	20,702	55,4	-2,3	-6,6	0
Aguas residuales	100%	16,227	16,227	16,227	16,227	55,7	-5,4	-6,8	0
Aguas residuales	100%	16,227	16,227	16,227	16,227	55,7	5,4	-6,8	0
Aguas aceitosas	100%	6,211	6,211	6,211	6,211	59,7	-2,3	-6,6	0
Lodos	100%	11,171	11,171	11,83	11,83	55,4	1,3	-6,6	0
Sentinas	100%	8,873	8,873	8,873	8,873	55,4	3,6	-6,6	0
Reboses	100%	5,59	5,59	6,211	6,211	59,7	2,3	-6,6	0
MDF	10%	12,776	1,278	14,196	1,42	64,5	-1,3	-6,9	10,282
MDF	10%	12,776	1,278	14,196	1,42	64,5	1,3	-6,9	10,282
Aguas residuales	100%	12,098	12,098	12,098	12,098	64,7	-3,4	-6,7	0
Aguas residuales	100%	12,098	12,098	12,098	12,098	64,7	3,4	-6,7	0
Lastre	100%	43,034	43,034	41,984	41,984	77,0	-0,9	-3,9	0
Lastre	100%	43,034	43,034	41,984	41,984	77,0	0,9	-3,9	0
Lastre	100%	14,14	14,14	13,795	13,795	79,4	-0,8	0,2	0
Lastre	100%	14,14	14,14	13,795	13,795	79,4	0,8	0,2	0
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,6	-7,8	-3,4	0
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,6	7,8	-3,4	0
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,6	-9,7	-1,7	0
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,6	9,7	-1,7	0
Agua dulce	10%	33,768	3,377	33,768	3,377	3,4	-8,4	-1,5	1,862
Agua dulce	10%	33,768	3,377	33,768	3,377	3,4	8,4	-1,5	1,862
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,4	-9,2	-6,2	0
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,4	9,2	-6,2	0
Aguas residuales	100%	45,297	45,297	45,297	45,297	48,3	8,1	-3,9	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Aguas residuales	100%	45,297	45,297	45,297	45,297	48,3	-8,1	-3,9	0
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,7	-7,2	-5,9	0
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,7	7,2	-5,9	0
Agua dulce	10%	42,523	4,252	42,523	4,252	64,9	-5,0	-5,3	22,243
Agua dulce	10%	42,523	4,252	42,523	4,252	64,9	5,0	-5,3	22,243
MDF	10%	25,857	2,586	28,73	2,873	47,3	-1,3	-1,5	4,284
MDF	10%	25,857	2,586	28,73	2,873	47,3	1,3	-1,5	4,284
Sedimentación	100%	31,028	31,028	34,476	34,476	48,3	-8,1	0,0	0
Sedimentación	100%	31,028	31,028	34,476	34,476	48,3	8,1	0,0	0
Servicio diario MDF	100%	14,545	14,545	16,161	16,161	52,2	-8,0	0,0	0
Servicio diario MDF	100%	14,545	14,545	16,161	16,161	52,2	8,0	0,0	0
Almacén aceite cilindros	10%	3,543	0,354	3,95	0,395	54,3	-7,7	-1,5	0,125
Almacén aceite cilindros	10%	3,543	0,354	3,95	0,395	54,3	7,7	-1,5	0,125
Servicio diario aceite cilindro	100%	2,004	2,004	2,234	2,234	55,1	-7,7	0,0	0
Servicio diario aceite cilindro	100%	2,004	2,004	2,234	2,234	55,1	7,7	0,0	0
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,9	-9,6	-1,7	0
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,9	9,6	-1,7	0
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,2	-8,9	-1,7	0
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,2	8,9	-1,7	0
Almacén aceite motores	10%	7,521	0,752	8,384	0,838	56,1	-7,9	-1,5	1,706
Almacén aceite motores	10%	7,521	0,752	8,384	0,838	56,1	7,9	-1,5	1,706
Almacén aceite motores	10%	28,996	2,9	32,326	3,233	59,3	-7,2	-1,5	8,596
Almacén aceite motores	10%	28,996	2,9	32,326	3,233	59,3	7,2	-1,5	8,596
Agua dulce	10%	49,73	4,973	49,73	4,973	66,2	-5,3	-1,5	22,368
Agua dulce	10%	49,73	4,973	49,73	4,973	66,2	5,3	-1,5	22,368
Agua dulce	10%	48,593	4,859	48,593	4,859	72,0	-3,1	-1,5	21,479
Agua dulce	10%	48,593	4,859	48,593	4,859	72,0	3,1	-1,5	21,479
Lastre	100%	12,134	12,134	11,838	11,838	76,2	-2,6	0,3	0
Lastre	100%	12,134	12,134	11,838	11,838	76,2	2,6	0,3	0
MDF	10%	433,968	43,397	482,186	48,219	36,9	-4,5	-6,0	495,225
MDF	10%	433,968	43,397	482,186	48,219	36,9	4,5	-6,0	495,225
MDF	10%	79,853	7,985	88,725	8,873	11,6	-4,6	-2,7	551,049
MDF	10%	79,853	7,985	88,725	8,873	11,6	4,6	-2,7	551,049
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,3	-9,2	-6,2	0
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,3	9,2	-6,2	0
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,1	-9,2	-6,2	0
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,1	9,2	-6,2	0
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,0	-9,1	-6,1	0
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,0	9,1	-6,1	0
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,6	-9,1	-4,8	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,6	9,1	-4,8	0
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,4	-9,1	-4,0	0
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,4	9,1	-4,0	0
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,4	0,0	-4,7	0
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,4	0,0	-4,7	0
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,1	-9,9	-1,7	0
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,1	9,9	-1,7	0
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,3	-10,0	-1,7	0
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,3	10,0	-1,7	0
Agua dulce	10%	49,612	4,961	49,612	4,961	25,9	-10,0	-1,5	3,629
Agua dulce	10%	49,612	4,961	49,612	4,961	25,9	10,0	-1,5	3,629
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,1	-10,0	-1,7	0
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,1	10,0	-1,7	0
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,7	-9,9	-1,7	0
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,7	9,9	-1,7	0
MDF	10%	109,892	10,989	122,102	12,21	38,2	-7,5	-1,5	28,449
MDF	10%	109,892	10,989	122,102	12,21	38,2	7,5	-1,5	28,449
Liquid mud	100%	125,837	125,837	50,335	50,335	40,9	-4,6	0,0	0
Liquid mud	100%	125,837	125,837	50,335	50,335	40,9	4,6	0,0	0
Liquid mud	100%	261,222	261,222	104,489	104,489	10,6	-7,1	0,0	0
Liquid mud	100%	261,222	261,222	104,489	104,489	10,6	7,1	0,0	0
Agua dulce	10%	81,151	8,115	81,151	8,115	10,6	-2,8	-1,5	18,624
Agua dulce	10%	81,151	8,115	81,151	8,115	10,6	2,8	-1,5	18,624
Cadenas/Lodos/Salmuera	100%	233,863	233,863	254,198	254,198	26,2	-4,7	-2,1	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	100%	233,863	233,863	254,198	254,198	26,2	4,7	-2,1	0
Metanol	100%	114,463	114,463	143,079	143,079	19,7	-4,7	-1,7	0
Metanol	100%	114,463	114,463	143,079	143,079	19,7	4,7	-1,7	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	32,7	-3,3	0,0	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	32,7	3,3	0,0	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	22,9	0,0	0,0	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	18,4	0,0	0,0	0
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,6	-9,4	-6,2	0
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,6	9,4	-6,2	0
Total Loadcase			6271,273	5503,716	1934,948	38,1	0,0	-0,9	3182,183
FS correction								0,5	
VCG fluid								-0,4	

Tabla 8. Situación de carga 2



#### 4.2.2. Posición de equilibrio

Equilibrio Situación 2	
Draft Amidships m	6,065
Displacement t	6271
Heel deg	0
Draft at FP m	5,305
Draft at AP m	6,824
Draft at LCF m	6,191
Trim (+ve by stern) m	1,52
WL Length m	81,477
Beam max extents on WL m	21,679
Wetted Area m <sup>2</sup>	1934,328
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1428,546
Prismatic coeff. (Cp)	0,596
Block coeff. (Cb)	0,568
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,955
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,809
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	38,065
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	33,96
KB m	3,702
KG fluid m	7,335
BMt m	7,762
BML m	97,971
GMt corrected m	4,128
GML m	94,337
KMt m	11,463
KML m	101,656
Immersion (TPc) tonne/cm	14,643
MTc tonne.m	72,589
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	451,819
Max deck inclination deg	1,0681
Trim angle (+ve by stern) deg	1,0681

Tabla 9. Equilibrio para la situación de carga 2

#### 4.2.3. Estabilidad a grandes ángulos

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque a la salida de viaje, 100 % de carga y 10 % de consumos.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,055	- 1,418	- 0,718	0	0,718	1,417	2,054	2,56	2,943	3,00 7
Area under GZ curve from zero heel m.deg	31,71 49	14,31 64	3,597	- 0,000 7	3,591 6	14,28 87	31,73 38	54,89 25	82,58 49	112, 62
Displacement t	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271
Draft at FP m	5,327	5,306	5,292	5,304	5,293	5,307	5,324	5,204	4,773	3,87 1
Draft at AP m	6,068	6,619	6,801	6,825	6,801	6,619	6,07	4,964	2,989	- 0,14 4
WL Length m	81,51 81,51	81,51 6	81,50 9	81,47 7	81,50 9	81,51 6	81,51 81,51	81,50 5	81,47 6	81,2 83
Beam max extents on WL m	22,86 6	22,78 2	22	21,67 9	22	22,78 2	22,86 6	21,98 9	20,45	18,2 1
Wetted Area m^2	1905, 376	1914, 707	1931, 176	1934, 317	1931, 185	1914, 71	1905, 325	1900, 761	1918, 655	1938 ,84
Waterpl. Area m^2	1424, 792	1431, 235	1431, 456	1428, 543	1431, 455	1431, 226	1424, 802	1420, 191	1401, 532	1289 ,07
Prismatic coeff. (Cp)	0,626	0,607	0,598	0,596	0,598	0,607	0,626	0,646	0,66	0,67 4
Block coeff. (Cb)	0,366	0,4	0,472	0,568	0,472	0,4	0,366	0,366	0,396	0,46 2
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	38,10 2	38,07 3	38,06 4	38,06 5	38,06 5	38,07 4	38,09 8	38,14	38,20 9	38,2 69
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	37,45 2	35,65 1	34,34 1	33,96	34,34 1	35,65 2	37,45	38,74 4	39,76 3	41,0 43
Max deck inclination deg	30,00 31	20,01 8	10,05 38	1,068 6	10,05 38	20,01 8	30,00 31	40,00 02	50,00 48	60,0 1
Trim angle (+ve by stern) deg	0,521 1	0,922 8	1,060 5	1,068 6	1,059 9	0,922 1	0,524 1	0,168 8	1,253 8	- 2,82 01

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2,77	2,334	1,765	1,123	0,47	-0,138	-0,661	-1,064	-1,276	-1,063	-0,483	0
141,70 73	167,36 45	187,94 48	202,41 61	210,36 35	211,96 89	207,89 02	199,15 73	187,20 09	175,10 34	167,28 2	164,98 09
6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6271	6272	6271	6271
2,049	-3,525	n/a	-19,85	14,296	12,598	11,908	11,666	11,673	11,827	11,917	11,927
-5,977	22,602	n/a	40,941	-24,33	18,498	15,428	13,564	12,452	11,973	11,942	11,938
80,15	82,267	84,218	85,039	84,817	83,695	82,334	82,14	82,106	82,142	82,166	82,169
17,029	16,103	15,689	15,895	16,644	17,58	18,398	18,796	19,685	22,566	22,035	21,7
1956,3 04	1968,1 88	1971,9 59	1979,7 39	1989,5 77	2008,1 92	2040,6 01	2094,0 4	2185,0 09	2353,5 97	2375,6 55	2376,3 97
1215,0 13	1162,6 28	1129,7 52	1127,3 02	1151,1 18	1193,1 34	1248,1 26	1318,2 5	1429,7 04	1632,8 31	1611,4 6	1587,5 82
0,695	0,688	0,685	0,695	0,718	0,757	0,807	0,851	0,886	0,91	0,916	0,916
0,532	0,597	0,634	0,538	0,47	0,43	0,414	0,422	0,442	0,455	0,606	0,722
38,332	38,394	38,443	38,454	38,438	38,395	38,327	38,251	38,192	38,143	38,134	38,133
41,877	42,08	41,761	41,359	40,745	39,984	39,183	38,405	37,792	36,93	37,084	37,081
70,011 8	80,008 3	90	99,989 8	109,98 15	119,97 84	129,98 15	139,98 91	149,99 66	159,99 98	170	179,99 2
- 5,6242	- 13,174	-90	- 14,509	- 7,0188	- 4,1402	- 2,473	- 1,3343	- 0,5479	- 0,1023	-0,018	-0,008

Tabla 10. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 2

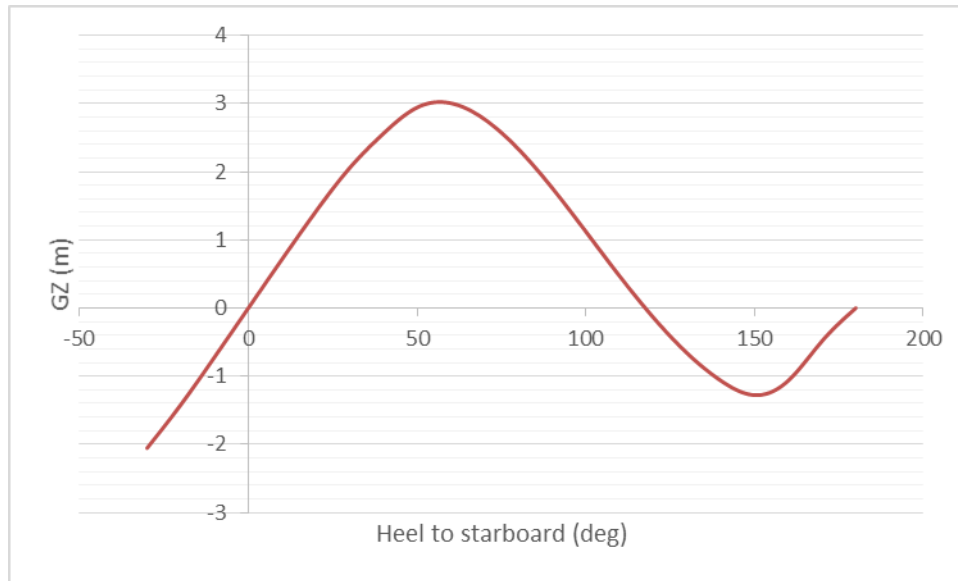


Gráfico 2. Curva GZ para la situación de carga 2

Max GZ = 3,023 m at 56,4 deg.

#### 4.3. Buque en lastre, 0 % de carga, 100 % de consumos

Se definirá esta situación de carga como *Situación de carga 3*.

##### 4.3.1. Situación de carga 3

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46	0
Lastre	100 %	48,462	48,462	47,28	47,28	33,084	-3,548	-6,72	0
Lastre	100 %	48,462	48,462	47,28	47,28	33,084	3,548	-6,72	0
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	-3,575	-6,55	0
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	3,575	-6,55	0
Lastre	100 %	38,206	38,206	37,274	37,274	38,387	-8,217	-6,724	0
Lastre	100 %	38,206	38,206	37,274	37,274	38,387	8,217	-6,724	0
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	3,25	-6,55	0
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	-3,25	-6,55	0
Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	-7,342	-6,69	0
Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	7,342	-6,686	0
Aceite sucio	100 %	18,57	18,57	20,702	20,702	55,429	-2,275	-6,55	0

**Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal**

Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	-5,38	-6,773	0
Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	5,38	-6,773	0
Aguas aceitosas	100 %	6,211	6,211	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,55	0
Lodos	100 %	11,171	11,171	11,83	11,83	55,429	1,3	-6,55	0
Sentinas	100 %	8,873	8,873	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,55	0
Reboses	100 %	5,59	5,59	6,211	6,211	59,654	2,275	-6,55	0
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	-1,3	-6,55	0
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	1,3	-6,55	0
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	-3,4	-6,73	0
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	3,4	-6,73	0
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177	0
Lastre	100 %	15,497	15,497	15,119	15,119	3,834	-8,79	-2,244	0
Lastre	100 %	15,497	15,497	15,119	15,119	3,834	8,79	-2,244	0
Lastre	100 %	38,8	38,8	37,853	37,853	3,399	-9,946	0,053	0
Lastre	100 %	38,8	38,8	37,853	37,853	3,399	9,946	0,053	0
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	-8,35	0	0
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	8,35	0	0
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	-9,489	-3,499	0
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	9,489	-3,499	0
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935	0
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935	0
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	-8,258	-3,093	0
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	8,258	-3,093	0
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	-5,488	-3,274	0
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	5,488	-3,274	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	-1,3	0	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	1,3	0	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0	0

**Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal**

Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0	0
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	-7,747	0	0
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	7,747	0	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	-9,679	0,124	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	9,679	0,124	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	-9,102	0,262	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	9,102	0,262	0
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	-8,13	0,171	0
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	8,13	0,171	0
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	-7,448	0,199	0
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	7,448	0,199	0
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	-5,583	0,191	0
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	5,583	0,191	0
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	-3,4	0,13	0
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	3,4	0,13	0
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266	0
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266	0
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	-4,525	-3,95	0
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	4,525	-3,95	0
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	-4,55	-2,2	0
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	4,55	-2,2	0
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	-9,541	-3,871	0
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	9,541	-3,871	0
Lastre	100 %	73,503	73,503	71,71	71,71	33,713	-9,582	-3,834	0
Lastre	100 %	73,503	73,503	71,71	71,71	33,713	9,582	-3,834	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Lastre	100 %	45,144	45,144	44,043	44,043	26,147	-9,87	-3,288	0
Lastre	100 %	45,144	45,144	44,043	44,043	26,147	9,87	-3,288	0
Lastre	100 %	25,049	25,049	24,438	24,438	18,315	-9,827	-2,784	0
Lastre	100 %	25,049	25,049	24,438	24,438	18,315	9,827	-2,784	0
Lastre	100 %	15,373	15,373	14,998	14,998	11,062	-9,74	-2,401	0
Lastre	100 %	15,373	15,373	14,998	14,998	11,062	9,74	-2,401	0
Lastre	100 %	122,147	122,147	119,168	119,168	12,263	-4,43	-3,418	0
Lastre	100 %	122,147	122,147	119,168	119,168	12,263	4,43	-3,418	0
Lastre	100 %	29,665	29,665	28,942	28,942	41,076	-9,92	0,011	0
Lastre	100 %	29,665	29,665	28,942	28,942	41,076	9,92	0,011	0
Lastre	100 %	50,887	50,887	49,646	49,646	34,304	-9,964	0	0
Lastre	100 %	50,887	50,887	49,646	49,646	34,304	9,964	0	0
Agua dulce	100 %	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	-9,963	0	0
Agua dulce	100 %	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	9,963	0	0
Lastre	100 %	43,165	43,165	42,112	42,112	18,052	-9,966	0	0
Lastre	100 %	43,165	43,165	42,112	42,112	18,052	9,966	0	0
Lastre	100 %	47,08	47,08	45,932	45,932	10,584	-9,966	0,006	0
Lastre	100 %	47,08	47,08	45,932	45,932	10,584	9,966	0,006	0
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	-7,475	0	0
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	7,475	0	0
Liquid mud	0%	125,837	0	50,335	0	40,882	-4,55	-1,7	0
Liquid mud	0%	125,837	0	50,335	0	40,882	4,55	-1,7	0
Liquid mud	0%	261,222	0	104,489	0	10,579	-7,13	-1,7	0
Liquid mud	0%	261,222	0	104,489	0	10,579	7,13	-1,7	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	-2,83	0	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	2,83	0	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	0%	233,863	0	254,198	0	28,159	-4,691	-6,2	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	0%	233,863	0	254,198	0	28,159	4,691	-6,2	0
Metanol	0%	114,463	0	143,079	0	21,958	-2,444	-5,404	0
Metanol	0%	114,463	0	143,079	0	21,958	2,444	-5,404	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	32,679	-3,279	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	32,679	3,279	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	22,929	0	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	18,379	0	-1,7	0

Lastre	100 %	20,09	20,09	19,6	19,6	44,678	-9,756	-1,9	0
Lastre	100 %	20,09	20,09	19,6	19,6	44,678	9,756	-1,9	0
Total Loadcase			8079,827	5503,716	4243,686	39,111	0	-1,537	0
FS correction								0	
VCG fluid								-1,537	

Tabla 11. Situación de carga 3

#### 4.3.2. Posición de equilibrio

Equilibrio Situación 3	
Draft Amidships m	7,439
Displacement t	8080
Heel deg	0
Draft at FP m	7,663
Draft at AP m	7,215
Draft at LCF m	7,406
Trim (+ve by stern) m	-0,448
WL Length m	81,486
Beam max extents on WL m	21,691
Wetted Area m <sup>2</sup>	2163,653
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1465,42
Prismatic coeff. (Cp)	0,627
Block coeff. (Cb)	0,585
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,962
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,829
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	39,123
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	34,698
KB m	4,383
KG fluid m	6,163
BMt m	6,24
BML m	80,844
GMt corrected m	4,46
GML m	79,064
KMt m	10,623
KML m	85,226
Immersion (TPc) tonne/cm	15,021
MTc tonne.m	78,381
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	628,878
Max deck inclination deg	0,3151
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,3151

Tabla 12. Equilibrio para la situación de carga 3

### 4.3.3. Estabilidad a grandes ángulos

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque a la salida de viaje, 0 % de carga y 100 % de consumos.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	-2,46	-1,615	-0,786	0	0,785	1,615	2,46	3,26	3,787	3,889
Area under GZ curve from zero heel m.deg	36,25 51	15,88 07	3,904 3	-0,000 6	3,897 9	15,86 83	36,23 62	64,95 03	100,5 085	139,1 975
Displacement t	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080
Draft at FP m	7,448	7,538	7,633	7,662	7,633	7,538	7,448	7,34	7,152	6,875
Draft at AP m	6,799	7,133	7,212	7,216	7,212	7,134	6,799	5,966	4,507	2,279
WL Length m	81,52	81,51	81,51	81,49	81,51	81,51	81,52	81,52	81,53	81,55
Beam max extents on WL m	24,06	23,05 6	21,99 8	21,69 1	21,99 8	23,05 6	24,06	24,21 4	20,43 8	18,09 3
Wetted Area m <sup>2</sup>	2167, 138	2172, 124	2165, 541	2163, 63	2165, 541	2172, 125	2167, 133	2173, 821	2206, 851	2230, 199
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1542, 009	1523, 081	1482, 781	1465, 409	1482, 781	1523, 084	1542, 011	1565, 506	1419, 312	1301, 852
Prismatic coeff. (Cp)	0,652	0,635	0,628	0,627	0,628	0,635	0,652	0,674	0,694	0,709
Block coeff. (Cb)	0,395	0,442	0,516	0,585	0,516	0,442	0,395	0,38	0,45	0,519
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	39,12 8	39,12 1	39,12 1	39,12 1	39,12 1	39,12 1	39,12 8	39,14 8	39,18 7	39,23 2
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	37,48 6	36,11 1	34,98 7	34,69 7	34,98 7	36,11 1	37,48 6	38,75 4	40,29 5	41,46 5
Max deck inclination deg	30,00 24	20,00 17	10,00 42	0,313 8	10,00 42	20,00 17	30,00 24	40,00 57	50,01 05	60,01 31
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,456	-0,285	-0,296	-0,314	-0,296	-0,284	-0,456	-0,966	-1,859	-3,227

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,708	3,332	2,82	2,214	1,564	0,934	0,393	-0,001	-0,175	-0,043	0,017	0
177,36 69	212,70 34	243,56 03	268,78 87	287,68 75	300,13 57	306,67 17	308,49 4	307,35 02	306,15 31	306,13 56	306,25 09
8080	8079	8079	8080	8079	8080	8080	8079	8081	8080	8080	8080
6,389	5,066	n/a	-10,44	-9,337	-9,101	-9,129	-9,318	-9,649	-9,954	-10,12	-10,18
-1,911	-14,01	n/a	-32,79	-20,57	-16,26	-13,95	-12,52	-11,67	-11,42	-11,37	-11,35
82,007	84,166	85,064	84,71	83,358	81,659	81,633	81,629	81,653	81,693	81,718	81,729
16,783	16,202	15,917	15,935	16,658	18,035	19,592	21,058	22,426	23,087	22,035	21,7
2249,1 26	2261,1 53	2268,1 45	2273,9 25	2282,5 36	2299,2 03	2331,4 83	2390,5 98	2486,5 93	2580,4 46	2591,3 23	2584,9 46
1232,0 61	1195,4 04	1176,2 65	1175,7 84	1203,0 27	1261,2 8	1343,7 67	1444,9	1569,9 22	1627,9 2	1568,6 82	1573,2 27
0,718	0,711	0,713	0,728	0,754	0,79	0,817	0,849	0,877	0,886	0,89	0,892
0,581	0,626	0,659	0,586	0,527	0,478	0,439	0,424	0,434	0,49	0,627	0,679
39,276	39,327	39,378	39,421	39,431	39,417	39,378	39,329	39,264	39,231	39,218	39,213
42,403	43,047	43,097	42,642	41,939	40,985	39,865	38,715	37,487	36,136	36,367	36,832
70,013	80,008	90	99,989	109,98	119,97	129,97	139,97	149,98	159,98	169,96	179,18
-5,815	-13,17	-90	-15,33	-7,848	-5,020	-3,382	-2,247	-1,420	-1,028	-0,878	-0,820

Tabla 13. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 3



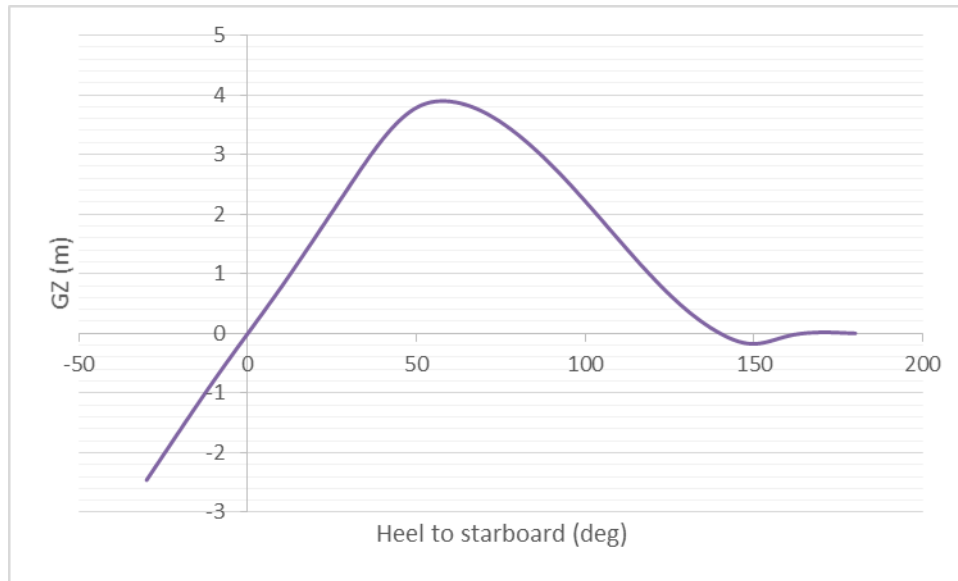


Gráfico 3. Curva GZ para la situación de carga 3

Max GZ = 3,023 m at 56,4 deg.

#### 4.4. Buque en lastre, 0 % de carga, 10 % de consumos

Se definirá esta situación de carga como *Situación de carga 4*.

##### 4.4.1. Situación de carga 4

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46	0
Lastre	100 %	48,462	48,462	47,28	47,28	33,084	-3,548	-6,72	0
Lastre	100 %	48,462	48,462	47,28	47,28	33,084	3,548	-6,72	0
MDF	10%	43,919	4,392	48,799	4,88	40,804	-3,575	-6,865	267,291
MDF	10%	43,919	4,392	48,799	4,88	40,804	3,575	-6,865	267,291
Lastre	100 %	38,206	38,206	37,274	37,274	38,387	-8,217	-6,724	0
Lastre	100 %	38,206	38,206	37,274	37,274	38,387	8,217	-6,724	0
MDF	10%	26,617	2,662	29,575	2,957	48,929	3,25	-6,865	133,88
MDF	10%	26,617	2,662	29,575	2,958	48,929	-3,25	-6,865	133,88
Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	-7,342	-6,686	0
Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	7,342	-6,686	0
Aceite sucio	100 %	18,57	18,57	20,702	20,702	55,429	-2,275	-6,55	0
Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	-5,38	-6,773	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	5,38	-6,773	0
Aguas aceitosas	100 %	6,211	6,211	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,55	0
Lodos	100 %	11,171	11,171	11,83	11,83	55,429	1,3	-6,55	0
Sentinas	100 %	8,873	8,873	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,55	0
Reboses	100 %	5,59	5,59	6,211	6,211	59,654	2,275	-6,55	0
MDF	10%	12,776	1,278	14,196	1,42	64,529	-1,3	-6,865	10,282
MDF	10%	12,776	1,278	14,196	1,42	64,529	1,3	-6,865	10,282
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	-3,4	-6,73	0
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	3,4	-6,73	0
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177	0
Lastre	100 %	15,497	15,497	15,119	15,119	3,834	-8,79	-2,244	0
Lastre	100 %	15,497	15,497	15,119	15,119	3,834	8,79	-2,244	0
Lastre	100 %	38,8	38,8	37,853	37,853	3,399	-9,946	0,053	0
Lastre	100 %	38,8	38,8	37,853	37,853	3,399	9,946	0,053	0
Agua dulce	10%	33,768	3,377	33,768	3,377	3,387	-8,35	-1,529	1,862
Agua dulce	10%	33,768	3,377	33,768	3,377	3,387	8,35	-1,529	1,862
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	-9,489	-3,499	0
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	9,489	-3,499	0
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935	0
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935	0
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	-8,258	-3,093	0
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	8,258	-3,093	0
Agua dulce	10%	42,523	4,252	42,523	4,252	64,948	-4,96	-5,3	22,243
Agua dulce	10%	42,523	4,252	42,523	4,252	64,948	4,96	-5,3	22,243
MDF	10%	25,857	2,586	28,73	2,873	47,304	-1,3	-1,53	4,284
MDF	10%	25,857	2,586	28,73	2,873	47,304	1,3	-1,53	4,284
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0	0
Almacén aceite cilindros	10%	3,543	0,354	3,95	0,395	54,277	-7,747	-1,53	0,125

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Almacén aceite cilindros	10%	3,543	0,354	3,95	0,395	54,277	7,747	-1,53	0,125
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	-9,679	0,124	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	9,679	0,124	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	-9,102	0,262	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	9,102	0,262	0
Almacén aceite motores	10%	7,521	0,752	8,384	0,838	56,057	-7,88	-1,475	1,706
Almacén aceite motores	10%	7,521	0,752	8,384	0,838	56,057	7,88	-1,475	1,706
Almacén aceite motores	10%	28,996	2,9	32,326	3,233	59,338	-7,165	-1,463	8,596
Almacén aceite motores	10%	28,996	2,9	32,326	3,233	59,338	7,165	-1,463	8,596
Agua dulce	10%	49,73	4,973	49,73	4,973	66,246	-5,266	-1,465	22,368
Agua dulce	10%	49,73	4,973	49,73	4,973	66,246	5,266	-1,465	22,368
Agua dulce	10%	48,593	4,859	48,593	4,859	71,994	-3,123	-1,488	21,479
Agua dulce	10%	48,593	4,859	48,593	4,859	71,994	3,123	-1,488	21,479
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266	0
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266	0
MDF	10%	433,968	43,397	482,186	48,219	36,904	-4,525	-5,975	495,225
MDF	10%	433,968	43,397	482,186	48,219	36,904	4,525	-5,975	495,225
MDF	10%	79,853	7,985	88,725	8,873	11,554	-4,55	-2,65	551,049
MDF	10%	79,853	7,985	88,725	8,873	11,554	4,55	-2,65	551,049
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	-9,541	-3,871	0
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	9,541	-3,871	0
Lastre	100 %	73,503	73,503	71,71	71,71	33,713	-9,582	-3,834	0
Lastre	100 %	73,503	73,503	71,71	71,71	33,713	9,582	-3,834	0
Lastre	100 %	45,144	45,144	44,043	44,043	26,147	-9,87	-3,288	0
Lastre	100 %	45,144	45,144	44,043	44,043	26,147	9,87	-3,288	0
Lastre	100 %	25,049	25,049	24,438	24,438	18,315	-9,827	-2,784	0
Lastre	100 %	25,049	25,049	24,438	24,438	18,315	9,827	-2,784	0
Lastre	100 %	15,373	15,373	14,998	14,998	11,062	-9,74	-2,401	0
Lastre	100 %	15,373	15,373	14,998	14,998	11,062	9,74	-2,401	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Lastre	100 %	122,147	122,147	119,168	119,168	12,263	-4,43	-3,418	0
Lastre	100 %	122,147	122,147	119,168	119,168	12,263	4,43	-3,418	0
Lastre	100 %	29,665	29,665	28,942	28,942	41,076	-9,92	0,011	0
Lastre	100 %	29,665	29,665	28,942	28,942	41,076	9,92	0,011	0
Lastre	100 %	50,887	50,887	49,646	49,646	34,304	-9,964	0	0
Lastre	100 %	50,887	50,887	49,646	49,646	34,304	9,964	0	0
Agua dulce	10%	49,612	4,961	49,612	4,961	25,852	-9,963	-1,53	3,629
Agua dulce	10%	49,612	4,961	49,612	4,961	25,852	9,963	-1,53	3,629
Lastre	100 %	43,165	43,165	42,112	42,112	18,052	-9,966	0	0
Lastre	100 %	43,165	43,165	42,112	42,112	18,052	9,966	0	0
Lastre	100 %	47,08	47,08	45,932	45,932	10,584	-9,966	0,006	0
Lastre	100 %	47,08	47,08	45,932	45,932	10,584	9,966	0,006	0
MDF	10%	109,892	10,989	122,102	12,21	38,204	-7,475	-1,53	28,449
MDF	10%	109,892	10,989	122,102	12,21	38,204	7,475	-1,53	28,449
Liquid mud	0%	125,837	0	50,335	0	40,882	-4,55	-1,7	0
Liquid mud	0%	125,837	0	50,335	0	40,882	4,55	-1,7	0
Liquid mud	0%	261,222	0	104,489	0	10,579	-7,13	-1,7	0
Liquid mud	0%	261,222	0	104,489	0	10,579	7,13	-1,7	0
Agua dulce	10%	81,151	8,115	81,151	8,115	10,579	-2,83	-1,53	18,624
Agua dulce	10%	81,151	8,115	81,151	8,115	10,579	2,83	-1,53	18,624
Cadenas/Loaders/Salmuera	0%	233,863	0	254,198	0	28,159	-4,691	-6,2	0
Cadenas/Loaders/Salmuera	0%	233,863	0	254,198	0	28,159	4,691	-6,2	0
Metanol	0%	114,463	0	143,079	0	21,958	-2,444	-5,404	0
Metanol	0%	114,463	0	143,079	0	21,958	2,444	-5,404	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	32,679	-3,279	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	32,679	3,279	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	22,929	0	-1,7	0
Cemento	0%	42,853	0	38,957	0	18,379	0	-1,7	0
Lastre	100 %	20,09	20,09	19,6	19,6	44,678	-9,756	-1,9	0
Lastre	100 %	20,09	20,09	19,6	19,6	44,678	9,756	-1,9	0
Total Loadcase			6138,854	5503,716	2147,856	39,635	0	-1,33	3182,183
FS correction								0,518	
VCG fluid								-0,812	

Tabla 14. Situación de carga 4

**4.4.2. Posición de equilibrio**

<b>Equilibrio Situación 4</b>	
Draft Amidships m	6,072
Displacement t	6139
Heel deg	0
Draft at FP m	5,909
Draft at AP m	6,235
Draft at LCF m	6,098
Trim (+ve by stern) m	0,326
WL Length m	81,444
Beam max extents on WL m	21,669
Wetted Area m <sup>2</sup>	1935,077
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1430,079
Prismatic coeff. (Cp)	0,587
Block coeff. (Cb)	0,559
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,954
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,81
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	39,619
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	34,212
KB m	3,632
KG fluid m	6,888
BMt m	7,883
BML m	100,569
GMt corrected m	4,627
GML m	97,313
KMt m	11,516
KML m	104,201
Immersion (TPc) tonne/cm	14,658
MTc tonne.m	73,298
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	495,743
Max deck inclination deg	0,229
Trim angle (+ve by stern) deg	0,229

*Tabla 15. Equilibrio para la situación de carga 4***4.4.3. Estabilidad a grandes ángulos**

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque a la salida de viaje, 0 % de carga y 10 % de consumos.

**Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal**

<b>Heel to Starboard (deg)</b>	<b>-30</b>	<b>-20</b>	<b>-10</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
GZ m	- 2,215	- 1,541	- 0,797	0	0,796	1,54	2,215	2,754	3,177	3,308
Area under GZ curve from zero heel m.deg	34,58 33	15,76 44	4,012 4	- 0,000 8	4,006 9	15,73 59	34,60 23	59,53 66	89,34 7	122,0 488
Displacement t	6139	6139	6139	6139	6139	6139	6139	6139	6139	6139
Draft at FP m	6,034	5,977	5,915	5,91	5,916	5,978	6,032	5,962	5,611	4,96
Draft at AP m	5,258	5,915	6,184	6,234	6,183	5,915	5,259	4,035	1,902	- 1,659
WL Length m	81,51 3	81,51	81,49 9	81,44 4	81,49 9	81,51	81,51 3	81,52 4	81,54 4	81,55 6
Beam max extents on WL m	22,76 6	22,73 7	22	21,66 9	22	22,73 7	22,76 6	21,96 4	20,45 1	18,16 9
Wetted Area m^2	1887, 12	1898, 681	1926, 555	1935, 104	1926, 565	1898, 683	1887, 043	1879, 687	1901, 429	1925, 131
Waterpl. Area m^2	1402, 474	1408, 665	1424, 215	1430, 084	1424, 206	1408, 65	1402, 456	1398, 453	1401, 791	1298, 558
Prismatic coeff. (Cp)	0,622	0,6	0,589	0,587	0,589	0,6	0,622	0,644	0,655	0,669
Block coeff. (Cb)	0,363	0,395	0,464	0,559	0,464	0,395	0,363	0,362	0,392	0,459
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	39,66 7	39,63 6	39,62 2	39,62 2	39,62 4	39,63 8	39,66 5	39,70 8	39,77 7	39,85 2
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	38,26 7	36,40 4	34,76 3	34,21 3	34,76 4	36,40 5	38,26 6	39,51 6	40,3	41,34 8
Max deck inclination deg	30,00 34	20	10,00 17	0,227 5	10,00 17	20	30,00 34	40,01 12	50,02 06	60,02 72
Trim angle (+ve by stern) deg	- 0,546	- 0,043	0,189	0,228	0,188	- 0,044	- 0,544	- 1,354	- 2,606	- 4,643

<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>170</b>	<b>180</b>
3,125	2,735	2,202	1,583	0,937	0,319	-0,237	-0,702	-1,008	-0,932	-0,432	0
154,42 75	183,86 66	208,65 17	227,62 22	240,21 93	246,46 05	246,80 29	242,02 16	233,26 05	223,15 04	216,19 05	214,13 75
6139	6139	6139	6139	6139	6139	6138	6139	6139	6139	6139	6139
3,668	-0,229	n/a	- 16,297	- 12,483	- 11,37	- 10,986	- 10,933	- 11,084	- 11,333	- 11,448	- 11,459
-8,33	- 27,452	n/a	- 45,935	- 26,792	- 20,105	- 16,596	- 14,464	- 13,162	- 12,543	- 12,482	- 12,477
81,274	83,22	84,799	85,147	84,453	82,938	82,029	81,944	81,948	81,994	82,024	82,027
16,93	16,268	15,716	15,895	16,636	17,532	18,302	18,622	19,522	22,413	22,035	21,7
1941,6 31	1952,5 1	1960,6 74	1966,6 91	1975,2 65	1994,2 93	2027,1 76	2078,3 45	2163,8 27	2231,6 57	2360,7 22	2360,1 46
1224,1 2	1174,8 04	1146,4 09	1142,3 15	1162,9 08	1198,0 72	1244,8 9	1304,8 92	1404,9 86	1589,9 27	1604,4 53	1584,0 63
0,683	0,677	0,676	0,688	0,714	0,755	0,8	0,84	0,871	0,888	0,889	0,89
0,525	0,583	0,609	0,521	0,458	0,421	0,405	0,414	0,433	0,446	0,583	0,64
39,929	40,003	40,062	40,091	40,077	40,039	39,97	39,888	39,796	39,733	39,721	39,719
42,215	42,544	42,39	41,941	41,277	40,521	39,715	38,981	38,402	37,382	37,052	37,109
70,026 4	80,017	90	99,979 9	109,96 25	119,95 26	129,95 3	139,96 24	149,97 58	159,98 47	169,97 47	179,28 43
- 8,3746	- 18,470 4	-90	- 19,983 7	- 9,9575	- 6,1177	- 3,9372	- 2,4809	- 1,4606	- 0,8509	- 0,7268	- 0,7157

*Tabla 16. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 4*

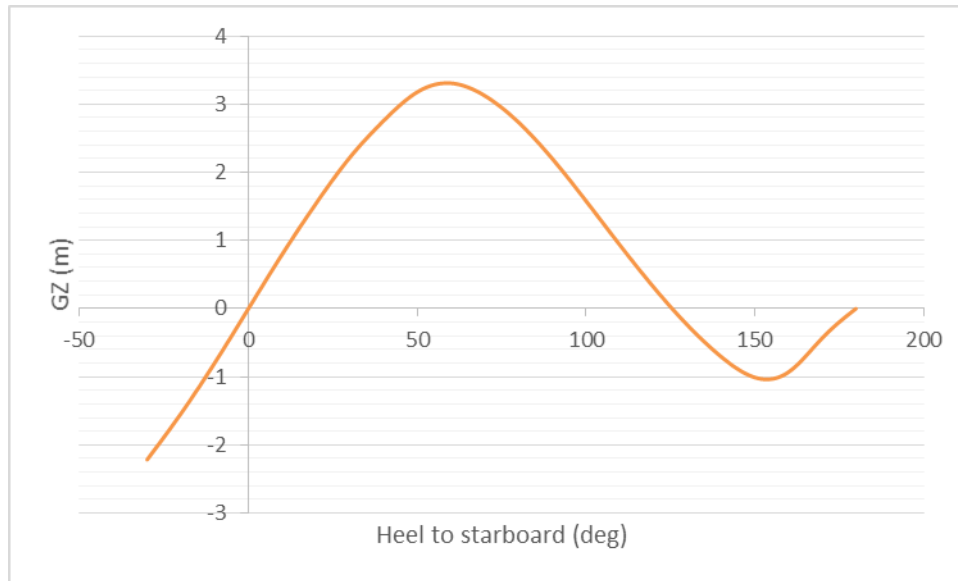


Gráfico 4. Curva GZ para la situación de carga 4

Max GZ = 3,31 m at 59,1 deg.

#### 4.5. Condición de remolque y manejo de anclas, 50 % de carga, 50 % de consumos y 400 t en popa

Los buques de suministro, cuando realicen operaciones de remolque, no transportarán carga en cubierta; no obstante, se podrá aceptar una cantidad limitada, adecuadamente asegurada, que no disminuya la seguridad de la tripulación al trabajar sobre cubierta ni impida el funcionamiento adecuado de la línea de remolque.

Se definirá esta situación de carga como *Situación de carga 5*.

##### 4.5.1. Situación de carga 5

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46	0
Remolque/ancla	1	400	400			0	0	1,7	0
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	-0,007	-7,638	0
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	0,007	-7,638	0
MDF	50%	43,919	21,959	48,799	24,399	40,804	-3,575	-6,725	267,291
MDF	50%	43,919	21,959	48,799	24,399	40,804	3,575	-6,725	267,291
Lastre	50%	38,206	19,103	37,274	18,637	38,913	-8,035	-7,025	30,221
Lastre	50%	38,206	19,103	37,274	18,637	38,913	8,035	-7,025	30,221
MDF	50%	26,617	13,309	29,575	14,787	48,929	3,25	-6,725	133,88
MDF	50%	26,617	13,309	29,575	14,787	48,929	-3,25	-6,725	133,88

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	-7,342	-6,686	0
Lastre	100 %	15,84	15,84	15,454	15,454	49,32	7,342	-6,686	0
Aceite sucio	50%	18,57	9,285	20,702	10,351	55,429	-2,275	-6,725	45,768
Aguas residuales	50%	16,227	8,113	16,227	8,113	55,341	-5,302	-7,081	4,719
Aguas residuales	50%	16,227	8,113	16,227	8,113	55,341	5,302	-7,081	4,719
Aguas aceitosas	50%	6,211	3,105	6,211	3,105	59,654	-2,275	-6,725	15,307
Lodos	50%	11,171	5,586	11,83	5,915	55,429	1,3	-6,725	8,99
Sentinas	50%	8,873	4,436	8,873	4,436	55,429	3,575	-6,725	4,016
Reboses	50%	5,59	2,795	6,211	3,105	59,654	2,275	-6,725	13,776
MDF	50%	12,776	6,388	14,196	7,098	64,529	-1,3	-6,725	10,282
MDF	50%	12,776	6,388	14,196	7,098	64,529	1,3	-6,725	10,282
Aguas residuales	50%	12,098	6,049	12,098	6,049	64,438	-3,263	-7,03	6,477
Aguas residuales	50%	12,098	6,049	12,098	6,049	64,438	3,263	-7,03	6,477
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177	0
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177	0
Lastre	50%	15,497	7,749	15,119	7,56	4,125	-8,605	-2,551	9,466
Lastre	50%	15,497	7,749	15,119	7,56	4,125	8,605	-2,551	9,466
Lastre	50%	38,8	19,4	37,853	18,927	3,433	-9,918	-0,777	3,022
Lastre	50%	38,8	19,4	37,853	18,927	3,433	9,918	-0,777	3,022
Agua dulce	50%	33,768	16,884	33,768	16,884	3,387	-8,35	-0,845	1,862
Agua dulce	50%	33,768	16,884	33,768	16,884	3,387	8,35	-0,845	1,862
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	-9,489	-3,499	0
Lastre	100 %	14,167	14,167	13,821	13,821	47,644	9,489	-3,499	0
Aguas residuales	50%	45,297	22,648	45,297	22,648	48,252	8,113	-5,054	3,213
Aguas residuales	50%	45,297	22,648	45,297	22,648	48,252	-8,113	-5,054	3,213
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	-8,258	-3,093	0
Lastre	100 %	11,144	11,144	10,872	10,872	54,367	8,258	-3,093	0
Agua dulce	50%	42,523	21,262	42,523	21,262	64,399	-5,297	-4,19	22,243
Agua dulce	50%	42,523	21,262	42,523	21,262	64,399	5,297	-4,19	22,243
MDF	50%	25,857	12,928	28,73	14,365	47,304	-1,3	-0,85	4,284
MDF	50%	25,857	12,928	28,73	14,365	47,304	1,3	-0,85	4,284
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0	0
Servicio	100	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0	0



Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

diario MDF	%								
Almacén aceite cilindros	50%	3,543	1,771	3,95	1,975	54,277	-7,747	-0,85	0,125
Almacén aceite cilindros	50%	3,543	1,771	3,95	1,975	54,277	7,747	-0,85	0,125
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	-9,679	0,124	0
Lastre	100 %	20,242	20,242	19,749	19,749	48,069	9,679	0,124	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	-9,102	0,262	0
Lastre	100 %	15,564	15,564	15,184	15,184	53,256	9,102	0,262	0
Almacén aceite motores	50%	7,521	3,76	8,384	4,192	56,06	-7,985	-0,674	1,706
Almacén aceite motores	50%	7,521	3,76	8,384	4,192	56,06	7,985	-0,674	1,706
Almacén aceite motores	50%	28,996	14,498	32,326	16,163	59,346	-7,286	-0,641	8,596
Almacén aceite motores	50%	28,996	14,498	32,326	16,163	59,346	7,286	-0,641	8,596
Agua dulce	50%	49,73	24,865	49,73	24,865	66,237	-5,406	-0,648	22,368
Agua dulce	50%	49,73	24,865	49,73	24,865	66,237	5,406	-0,648	22,368
Agua dulce	50%	48,593	24,296	48,593	24,296	72,021	-3,245	-0,715	21,479
Agua dulce	50%	48,593	24,296	48,593	24,296	72,021	3,245	-0,715	21,479
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266	0
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266	0
MDF	50%	433,968	216,984	482,186	241,093	36,904	-4,525	-5,075	495,225
MDF	50%	433,968	216,984	482,186	241,093	36,904	4,525	-5,075	495,225
MDF	50%	79,853	39,926	88,725	44,363	11,554	-4,55	-2,45	551,049
MDF	50%	79,853	39,926	88,725	44,363	11,554	4,55	-2,45	551,049
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	-9,541	-3,871	0
Lastre	100 %	64,855	64,855	63,273	63,273	40,386	9,541	-3,871	0
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	-9,182	-6,2	0
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	9,182	-6,2	0
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	-9,1	-6,148	0
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	9,1	-6,148	0
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	-9,1	-4,849	0
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	9,1	-4,849	0
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	-9,1	-3,954	0
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	9,1	-3,954	0

Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	-0,007	-4,699	0
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	0,007	-4,699	0
Lastre	50%	29,665	14,833	28,942	14,471	41,064	-9,912	-0,839	2,08
Lastre	50%	29,665	14,833	28,942	14,471	41,064	9,912	-0,839	2,08
Lastre	50%	50,887	25,444	49,646	24,823	34,305	-9,964	-0,85	3,73
Lastre	50%	50,887	25,444	49,646	24,823	34,305	9,964	-0,85	3,73
Agua dulce	50%	49,612	24,806	49,612	24,806	25,852	-9,963	-0,85	3,629
Agua dulce	50%	49,612	24,806	49,612	24,806	25,852	9,963	-0,85	3,629
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	-9,966	-1,7	0
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	9,966	-1,7	0
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	-9,922	-1,7	0
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	9,922	-1,7	0
MDF	50%	109,892	54,946	122,102	61,051	38,204	-7,475	-0,85	28,449
MDF	50%	109,892	54,946	122,102	61,051	38,204	7,475	-0,85	28,449
Liquid mud	50%	125,837	62,919	50,335	25,167	40,882	-4,55	-0,85	20,85
Liquid mud	50%	125,837	62,919	50,335	25,167	40,882	4,55	-0,85	20,85
Liquid mud	50%	261,222	130,611	104,489	52,244	10,579	-7,13	-0,85	99,39
Liquid mud	50%	261,222	130,611	104,489	52,244	10,579	7,13	-0,85	99,39
Agua dulce	50%	81,151	40,576	81,151	40,576	10,579	-2,83	-0,85	18,624
Agua dulce	50%	81,151	40,576	81,151	40,576	10,579	2,83	-0,85	18,624
Cadenas/Lodos/Salmuera	50%	233,863	116,931	254,198	127,099	26,266	-4,715	-4,06	84,04
Cadenas/Lodos/Salmuera	50%	233,863	116,931	254,198	127,099	26,266	4,715	-4,06	84,04
Metanol	50%	114,463	57,232	143,079	71,539	19,746	-4,719	-3,399	29,314
Metanol	50%	114,463	57,232	143,079	71,539	19,746	4,719	-3,399	29,314
Cemento	50%	42,853	21,426	38,957	19,479	32,679	-3,279	-0,85	12,156
Cemento	50%	42,853	21,426	38,957	19,479	32,679	3,279	-0,85	12,156
Cemento	50%	42,853	21,426	38,957	19,478	22,929	0	-0,85	12,156
Cemento	50%	42,853	21,426	38,957	19,478	18,379	0	-0,85	12,156
Lastre	50%	20,09	10,045	19,6	9,8	44,668	-9,688	-3,804	0,645
Lastre	50%	20,09	10,045	19,6	9,8	44,668	9,688	-3,804	0,645
Total Loadcase			7090,779	5503,716	2601,019	37,526	0	-1,22	3912,997
FS correction								0,552	
VCG fluid								-0,669	

Tabla 17. Situación de carga 5

#### 4.5.2. Posición de equilibrio

Equilibrio Situación 5	
Draft Amidships m	6,612
Displacement t	7091
Heel deg	0
Draft at FP m	5,79
Draft at AP m	7,434
Draft at LCF m	6,746
Trim (+ve by stern) m	1,645
WL Length m	81,506
Beam max extents on WL m	21,694
Wetted Area m <sup>2</sup>	2025,427
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1439,71
Prismatic coeff. (Cp)	0,615
Block coeff. (Cb)	0,588
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,959
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,814
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,467
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	34,12
KB m	4,024
KG fluid m	7,031
BMt m	6,951
BML m	88,233
GMt corrected m	3,943
GML m	85,225
KMt m	10,974
KML m	92,239
Immersion (TPc) tonne/cm	14,757
MTc tonne.m	74,147
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	487,988
Max deck inclination deg	1,1559
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1559

Tabla 18. Equilibrio para la situación de carga 5

#### 4.5.3. Estabilidad a grandes ángulos

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque a la salida de viaje, 50 % de carga y 50 % de consumos y 400 toneladas en popa.

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,148	-1,42	- 0,695	0	0,695	1,419	2,148	2,783	3,225	3,27
Area under GZ curve from zero heel m.deg	31,85 73	14,01 77	3,459 8	- 0,000 3	3,458	14,00 35	31,87 34	56,63 09	86,93 56	119,7 208
Displacement t	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091
Draft at FP m	5,655	5,717	5,763	5,791	5,763	5,717	5,654	5,5	5,063	4,202
Draft at AP m	6,956	7,337	7,431	7,433	7,431	7,337	6,956	6,054	4,443	2,016
WL Length m	81,51 8	81,52 4	81,52 3	81,50 6	81,52 3	81,52 4	81,51 8	81,51 1	81,49 8	81,36 5
Beam max extents on WL m	23,47 7	22,97 4	21,99 9	21,69 4	21,99 9	22,97 4	23,47 7	23,08 8	20,44 5	18,16 7
Wetted Area m^2	2026, 791	2026, 518	2025, 266	2025, 452	2025, 266	2026, 52	2026, 776	2025, 935	2046, 422	2066, 676
Waterpl. Area m^2	1492, 936	1481, 07	1452, 128	1439, 722	1452, 128	1481, 069	1492, 934	1496, 737	1406, 865	1292, 042
Prismatic coeff. (Cp)	0,64	0,623	0,616	0,615	0,616	0,623	0,64	0,66	0,676	0,69
Block coeff. (Cb)	0,38	0,421	0,496	0,588	0,496	0,421	0,38	0,372	0,421	0,488
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,47 7	37,46 5	37,46 5	37,46 9	37,46 5	37,46 6	37,47 7	37,50 3	37,55 4	37,59 8
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,96 5	35,30 5	34,33 3	34,12	34,33 3	35,30 5	36,96 4	38,21 1	39,88 7	41,10 8
Max deck inclination deg	30,00 95	20,02 74	10,06 58	1,154 5	10,06 58	20,02 74	30,00 95	40,00 09	50,00 06	60,00 3
Trim angle (+ve by stern) deg	0,915	1,138 4	1,172 3	1,154 5	1,172 3	1,138 2	0,915 4	0,389 6	- 0,436	- 1,536 3

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,028	2,594	2,027	1,384	0,723	0,107	-0,41	-0,78	-0,928	-0,648	-0,283	0
151,39 43	179,64 06	202,83 44	219,93 1	230,45 64	234,54 53	232,91 95	226,84 11	217,99 05	209,85 98	205,25 67	203,89 46
7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091	7091
2,492	-2,641	n/a	- 18,781	- 13,688	- 12,125	- 11,493	-11,28	- 11,328	- 11,508	- 11,618	- 11,631
-2,496	15,388	n/a	- 33,806	- 20,911	-16,36	13,933	-12,45	- 11,582	- 11,299	- 11,266	- 11,261
80,531	82,451	84,291	85,023	84,69	83,404	82,146	82,007	81,999	82,04	82,072	82,076
16,969	16,193	15,725	15,899	16,653	17,858	19,02	19,945	20,934	23,086	22,035	21,7
2082,3 73	2095,2 89	2101,8 67	2109,9 34	2119,9 74	2136,9 04	2169,3 54	2227,6 25	2324,6 9	2462,1 22	2470,5 36	2471,2 79
1217,3 9	1167,9 31	1139,0 06	1138,4 92	1165,4 84	1218,8 81	1290,8 65	1381,2 65	1508,8 62	1651,9 07	1601,7 83	1584,9 47
0,709	0,704	0,7	0,708	0,73	0,767	0,814	0,855	0,888	0,886	0,879	0,878
0,554	0,611	0,662	0,569	0,502	0,454	0,431	0,427	0,444	0,466	0,614	0,772
37,638	37,687	37,731	37,746	37,739	37,71	37,66	37,6	37,539	37,508	37,498	37,497
41,9	42,164	41,934	41,545	40,955	40,131	39,194	38,242	37,376	36,515	36,892	36,984
70,004 6	80,003 7	90	99,994 8	109,99 04	119,98 88	129,99 11	139,99 59	149,99 96	159,99 95	169,99 71	179,73 99
- 3,5024	- 8,8889	-90	- 10,445	- 5,0646	- 2,9747	- 1,7149	- 0,8218	- 0,1782	- 0,1471	- 0,2478	- 0,2601

Tabla 19. Estabilidad a grandes ángulos para la situación de carga 5

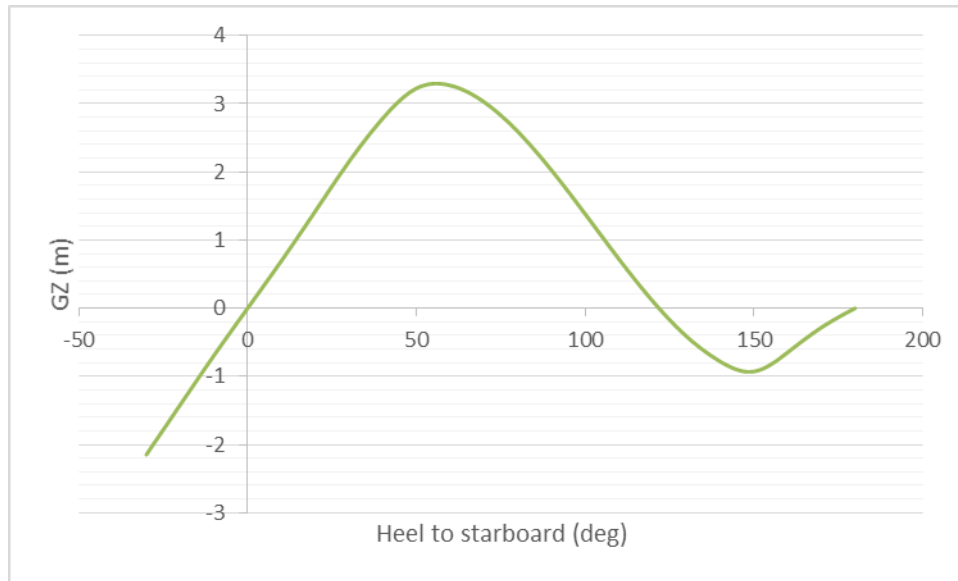


Gráfico 5. Curva GZ para la situación de carga 5

Max GZ = 3,296 m at 56,4 deg.

Se comprueba, por lo tanto, que todas las situaciones de carga analizadas en este apartado cumplen con los criterios mínimos establecidos en la normativa vigente.

## **5. Resistencia longitudinal: pesos, empujes, esfuerzos cortantes y momentos flectores**

En este apartado se realiza un cálculo de la distribución del momento flector y del esfuerzo cortante a lo largo de la eslora del buque proyecto para cada situación de carga. Se ha verificado que el valor máximo correspondiente a cada situación de carga esté por debajo del valor máximo admisible según lo establecido en el cuaderno 10, *Resistencia estructural*. Es decir, esos valores máximos son aquellos que la estructura longitudinal del buque proyecto es capaz de soportar sin excederse la tensión máxima admisible.

En los siguientes puntos podrán verse los diagramas de la carga neta, el empuje, el esfuerzo cortante y el momento flector a lo largo de la eslora para cada condición de carga. Para la realización del cálculo se ha utilizado como herramienta el módulo Hydromax de Maxsurf.

### 5.1. Situación de carga 1

Name	Long. Pos. (m)	Mass (t/m)	Bouyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear $\times 10^3$ (tonne)	Moment $\times 10^3$ (tonne.m)
st 1	1,495	10,2	-61,218	-51,018	-0,069	-0,048
st 2	3,531	10,2	-66,091	-55,891	-0,178	-0,301
st 3	5,567	10,2	-70,962	-60,762	-0,296	-0,778
st 4	7,604	104,168	-75,833	28,335	-0,338	-1,47
st 5	11,677	104,168	-85,568	18,6	-0,243	-2,64
st 6	15,75	16,38	-95,925	-79,545	-0,299	-3,574
st 7	19,822	62,515	-106,619	-44,104	-0,542	-5,368
st 8	23,895	102,475	-118,155	-15,681	-0,779	-8,061
st 9	27,968	95,345	-131,063	-35,718	-0,899	-11,454
st 10	32,041	89,032	-147,177	-58,145	-1,197	-15,713
st 11	36,114	92,484	-158,626	-66,142	-1,436	-21,034
st 12	40,187	136,684	-157,813	-21,129	-1,611	-27,331
st 13	44,259	9,009	-151,769	-142,76	2,228	-25,672
st 14	48,332	53,567	-141,736	-88,169	1,785	-17,596
st 15	52,405	21,014	-128,918	- 107,904	1,367	-11,144
st 16	56,478	21,082	-113,745	-92,663	0,952	-6,444
st 17	60,551	24,871	-97,735	-72,865	0,619	-3,274
st 18	64,624	28,158	-81,224	-53,066	0,351	-1,339
st 19	68,697	24,185	-64,137	-39,951	0,167	-0,305
st 20	72,769	17,788	-46,053	-28,264	0,032	0,084
st 21	76,842	25,936	-25,347	0,588	-0,019	0,052
st 22	78,879	22,631	-13,535	9,096	-0,014	0,016
st 23	80,915	5,073	-2,244	2,829	-0,001	0
st 24	82,852	0	0	0	0	0
st 25	84,988	0	0	0	0	0

Tabla 20. Resistencia longitudinal para la situación de carga 1

El momento máximo es 30465 t/m, es decir 298557 kN/m.

El esfuerzo cortante máximo 2331 t, es decir, 22843,3 kN.

## 5.2. Situación de carga 2

Name	Long. Pos. (m)	Mass (t/m)	Bouyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear x10 <sup>3</sup> (tonne)	Moment x 10 <sup>3</sup> (tonne.m)
st 1	1,495	1,13	-39,631	-38,501	-0,05	-0,034
st 2	3,531	1,016	-43,992	-42,976	-0,133	-0,222
st 3	5,567	0,902	-48,368	-47,466	-0,225	-0,583
st 4	7,604	72,251	-52,757	19,494	-0,26	-1,112
st 5	11,677	70,535	-61,541	8,994	-0,202	-2,041
st 6	15,75	0,351	-70,935	-70,584	-0,275	-2,876
st 7	19,822	62,515	-80,676	-18,162	-0,425	-4,403
st 8	23,895	92,028	-91,229	0,799	-0,578	-6,429
st 9	27,968	84,647	-103,108	-18,461	-0,629	-8,864
st 10	32,041	33,092	-118,18	-85,088	-0,944	-11,966
st 11	36,114	10,797	-129,092	-118,295	-1,355	-16,582
st 12	40,187	52,491	-127,559	-75,068	-1,745	-22,983
st 13	44,259	0,05	-121,478	-121,428	1,911	-22,313
st 14	48,332	31,915	-111,889	-79,974	1,521	-15,398
st 15	52,405	21,014	-100,139	-79,125	1,185	-9,871
st 16	56,478	11,077	-86,806	-75,728	0,866	-5,699
st 17	60,551	9,298	-73,207	-63,909	0,582	-2,767
st 18	64,624	6,424	-59,558	-53,134	0,334	-0,928
st 19	68,697	3,433	-45,841	-42,408	0,139	0,023
st 20	72,769	1,699	-31,811	-30,112	-0,008	0,271
st 21	76,842	25,936	-16,408	9,528	-0,042	0,088
st 22	78,879	22,631	-8,03	14,602	-0,022	0,024
st 23	80,915	5,073	-0,969	4,104	-0,002	0
st 24	82,852	0	0	0	0	0
st 25	84,988	0	0	0	0	0

Tabla 21. Resistencia longitudinal para la situación de carga 2

El momento máximo es 26476 t/m, es decir 259465 kN/m.

El esfuerzo cortante máximo 2087 t, es decir, 20452,6 kN.

## 5.3. Situación de carga 3

Name	Long. Pos. (m)	Mass (t/m)	Bouyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear x10 <sup>3</sup> (tonne)	Moment x 10 <sup>3</sup> (tonne.m)
st 1	1,495	25,295	-49,13	-23,836	-0,031	-0,021
st 2	3,531	26,713	-54,632	-27,92	-0,083	-0,137
st 3	5,567	28,129	-60,137	-32,008	-0,144	-0,365
st 4	7,604	68,348	-65,642	2,706	-0,178	-0,712
st 5	11,677	78,829	-76,644	2,185	-0,169	-1,418
st 6	15,75	69,131	-88,278	-19,147	-0,187	-2,104
st 7	19,822	19,83	-100,239	-80,409	-0,459	-3,346
st 8	23,895	21,407	-113,063	-91,656	-0,809	-5,917
st 9	27,968	25,034	-127,284	- 102,249	-1,206	-9,998
st 10	32,041	111,368	-144,711	-33,343	-1,488	-15,628
st 11	36,114	131,546	-157,142	-25,596	-1,557	-21,845
st 12	40,187	130,45	-157,517	-27,068	-1,664	-28,402
st 13	44,259	35,008	-152,591	- 117,583	2,159	-27,018
st 14	48,332	71,203	-143,67	-72,467	1,8	-19,041
st 15	52,405	32,474	-131,811	-99,336	1,425	-12,428
st 16	56,478	27,121	-117,414	-90,293	1,04	-7,421
st 17	60,551	24,871	-101,922	-77,052	0,692	-3,917
st 18	64,624	28,158	-85,662	-57,504	0,407	-1,718
st 19	68,697	24,185	-68,502	-44,317	0,205	-0,492
st 20	72,769	17,788	-49,939	-32,151	0,053	0,016
st 21	76,842	25,936	-28,101	-2,165	-0,012	0,04
st 22	78,879	22,631	-15,339	7,292	-0,011	0,013
st 23	80,915	5,073	-2,692	2,381	-0,001	0
st 24	82,852	0	0	0	0	0
st 25	84,988	0	0	0	0	0

Tabla 22. Resistencia longitudinal para la situación de carga 3

El momento máximo es 31650 t/m, es decir 310170 kN/m.

El esfuerzo cortante máximo 2263 t, es decir, 22177,4 kN.



#### 5.4. Situación de carga 4

Name	Long. Pos. (m)	Mass (t/m)	Bouyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear $\times 10^3$ (tonne)	Moment $\times 10^3$ (tonne.m)
st 1	1,495	16,141	-27,394	-11,253	-0,012	-0,007
st 2	3,531	17,534	-32,304	-14,769	-0,039	-0,058
st 3	5,567	18,926	-37,264	-18,339	-0,072	-0,169
st 4	7,604	35,215	-42,27	-7,055	-0,1	-0,35
st 5	11,677	45,324	-52,349	-7,025	-0,129	-0,816
st 6	15,75	54,111	-63,097	-8,987	-0,16	-1,401
st 7	19,822	19,83	-74,185	-54,355	-0,337	-2,359
st 8	23,895	10,86	-86,114	-75,253	-0,604	-4,244
st 9	27,968	14,443	-99,408	-84,965	-0,932	-7,351
st 10	32,041	54,42	-115,897	-61,477	-1,233	-11,808
st 11	36,114	48,65	-127,733	-79,083	-1,478	-17,323
st 12	40,187	47,011	-127,482	-80,471	-1,802	-24,002
st 13	44,259	26,72	-122,516	-95,796	1,842	-23,615
st 14	48,332	49,52	-114,07	-64,55	1,536	-16,795
st 15	52,405	32,474	-103,273	-70,799	1,242	-11,108
st 16	56,478	17,132	-90,674	-73,542	0,953	-6,632
st 17	60,551	9,293	-77,529	-68,236	0,654	-3,373
st 18	64,624	6,363	-64,043	-57,68	0,387	-1,28
st 19	68,697	3,641	-50,14	-46,499	0,175	-0,15
st 20	72,769	1,747	-35,521	-33,774	0,011	0,209
st 21	76,842	25,936	-18,934	7,001	-0,035	0,078
st 22	78,879	22,631	-9,641	12,99	-0,02	0,021
st 23	80,915	5,073	-1,357	3,716	-0,001	0
st 24	82,852	0	0	0	0	0
st 25	84,988	0	0	0	0	0

Tabla 23. Resistencia longitudinal para la situación de carga 4

El momento máximo es 27615 t/m, es decir 270627 kN/m.

El esfuerzo cortante máximo 2017 t, es decir, 19766,6 kN.

Con lo cual, en esta situación de carga no se cumplen los requisitos de resistencia longitudinal.

## 5.5. Situación de carga 5

Name	Long. Pos. (m)	Mass (t/m)	Bouyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear x10 <sup>3</sup> (tonne)	Moment x 10 <sup>3</sup> (tonne.m)
st 1	1,495	12,634	-53,173	-40,538	0,346	0,561
st 2	3,531	13,384	-57,494	-44,11	0,26	1,177
st 3	5,567	14,142	-61,814	-47,672	0,167	1,615
st 4	7,604	54,971	-66,135	-11,163	0,103	1,871
st 5	11,677	51,464	-74,769	-23,305	0,033	2,166
st 6	15,75	6,788	-84,012	-77,225	-0,14	2,039
st 7	19,822	31,192	-93,604	-62,412	-0,418	0,866
st 8	23,895	50,195	-104,01	-53,815	-0,71	-1,426
st 9	27,968	48,341	-115,751	-67,41	-0,964	-4,817
st 10	32,041	53,481	-130,693	-77,212	-1,313	-9,456
st 11	36,114	57,233	-141,402	-84,169	-1,637	-15,438
st 12	40,187	96,882	-139,643	-42,76	-1,874	-22,666
st 13	44,259	16,342	-133,093	-116,751	1,891	-22,27
st 14	48,332	50,481	-122,831	-72,35	1,535	-15,377
st 15	52,405	28,19	-110,22	-82,03	1,201	-9,786
st 16	56,478	16,197	-95,812	-79,615	0,875	-5,56
st 17	60,551	11,657	-81,035	-69,379	0,563	-2,651
st 18	64,624	14,283	-66,152	-51,869	0,313	-0,895
st 19	68,697	11,659	-51,147	-39,487	0,129	-0,012
st 20	72,769	8,777	-35,735	-26,958	-0,003	0,228
st 21	76,842	25,936	-18,739	7,197	-0,036	0,079
st 22	78,879	22,631	-9,422	13,209	-0,02	0,022
st 23	80,915	5,073	-1,28	3,793	-0,001	0
st 24	82,852	0	0	0	0	0
st 25	84,988	0	0	0	0	0

Tabla 24. Resistencia longitudinal para la situación de carga 5

El momento máximo es 26349 t/m, es decir 258220 kN/m.

El esfuerzo cortante máximo 2021 t, es decir, 19805,8 kN.

## **6. Estabilidad después de avería cuando lo requieren los reglamentos**

Los criterios de estabilidad en averías descritos en el apartado 3.2. determinan los requisitos a cumplir por el buque proyecto según la normativa del Convenio SOLAS, el Código de Seguridad aplicable a los Buques para Fines Especiales y el Convenio internacional sobre líneas de carga.

Para hacer el cálculo de la estabilidad en averías se emplea, al igual que en el resto de cálculos de este cuaderno, el módulo Hydromax de Maxsurf.

Las averías que se han estudiado se han hecho para la condición de máxima carga, que es la más perjudicial desde el punto de vista de la estabilidad.

### **6.1. Inundación local de los Azipod CO1400**

Se analiza en este apartado la hipótesis de inundación del local que contiene al equipo de los propulsores Azipod CO1400

#### **6.1.1. Situación de carga**

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	-0,007	-7,638
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	0,007	-7,638
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	-3,575	-6,55
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	3,575	-6,55
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	-7,151	-7,653
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	7,151	-7,653
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	3,25	-6,55
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	-3,25	-6,55
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	-6,5	-7,638
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	6,5	-7,638
Aceite sucio	100 %	18,57	18,57	20,702	20,702	55,429	-2,275	-6,55
Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	-5,38	-6,773
Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	5,38	-6,773
Aguas aceitosas	100 %	6,211	6,211	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,55
Lodos	100 %	11,171	11,171	11,83	11,83	55,429	1,3	-6,55

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Sentinas	100 %	8,873	8,873	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,55
Reboses	100 %	5,59	5,59	6,211	6,211	59,654	2,275	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	-1,3	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	1,3	-6,55
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	-3,4	-6,73
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	3,4	-6,73
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	-9,224	-6,2
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	9,224	-6,2
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	-7,15	-5,906
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	7,15	-5,906
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	-5,488	-3,274
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	5,488	-3,274
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	-1,3	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	1,3	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	-7,747	0
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	7,747	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	-9,573	-1,7
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	9,573	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	-8,868	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	8,868	-1,7
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	-8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	-7,448	0,199
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	7,448	0,199
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	-5,583	0,191
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	5,583	0,191
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	-3,4	0,13
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	3,4	0,13
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	-4,525	-3,95
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	4,525	-3,95
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	-4,55	-2,2
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	4,55	-2,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	-9,245	-6,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	9,245	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	-9,182	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	9,182	-6,2
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	-9,1	-6,148
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	9,1	-6,148
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	-9,1	-4,849
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	9,1	-4,849
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	-9,1	-3,954
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	9,1	-3,954
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	-0,007	-4,699
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	0,007	-4,699
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	-9,904	-1,7
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	9,904	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	-9,964	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	9,964	-1,7
Agua dulce	100 %	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	-9,963	0
Agua dulce	100	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	9,963	0

	%							
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	-9,966	-1,7
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	9,966	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	-9,922	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	9,922	-1,7
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	-7,475	0
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	7,475	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	-4,55	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	4,55	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	-7,13	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	7,13	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	-2,83	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	2,83	0
Cadenas/Lodo s/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	-4,717	-2,139
Cadenas/Lodo s/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	4,717	-2,139
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	-4,72	-1,699
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	4,72	-1,699
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	-3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	22,929	0	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	18,379	0	0
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	-9,364	-6,2
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	9,364	-6,2
Total Loadcase			8144,712	5330,236	3963,243	38,259	0	-1,194
FS correction								0
VCG fluid								-1,194

Tabla 25. Situación de carga 1 con el local de propulsores Azipod CO1400 inundado

**6.1.2. Posición de equilibrio**

<b>Equilibrio inundación local Azipod CO1400</b>	
Draft Amidships m	7,482
Displacement t	8212
Heel deg	0
Draft at FP m	6,92
Draft at AP m	8,045
Draft at LCF m	7,556
Trim (+ve by stern) m	1,125
WL Length m	81,508
Beam max extents on WL m	21,7
Wetted Area m <sup>2</sup>	2169,149
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1417,01
Prismatic coeff. (Cp)	0,629
Block coeff. (Cb)	0,604
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,962
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,801
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,943
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	35,426
KB m	4,451
KG fluid m	6,516
BMt m	5,669
BML m	73,323
GMt corrected m	3,604
GML m	71,258
KMt m	10,119
KML m	77,767
Immersion (TPc) tonne/cm	14,524
MTc tonne.m	71,8
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	516,471
Max deck inclination deg	0,791
Trim angle (+ve by stern) deg	0,791

Tabla 26. Equilibrio con el local de los Azipod CO1400 inundado

**6.1.3. Estabilidad a grandes ángulos**

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque 1 con la hipótesis de avería de local de los propulsores Azipod CO1400 inundado.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,245	- 1,41	- 0,648	0	0,647	1,408	2,245	3,052	3,531	3,602
Area under GZ curve from zero heel m.deg	31,60 78	13,3 693	3,179 2	- 0,000 6	3,172 3	13,35 93	31,58 09	58,21 19	91,47 81	127,4 363
Displacement t	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
Draft at FP m	6,675	6,82	6,892	6,916	6,892	6,814	6,675	6,502	6,125	5,518
Draft at AP m	7,733	7,96	8,042	8,048	8,042	7,963	7,733	7,044	5,964	4,341
WL Length m	81,52	81,5	81,52	81,51	81,52	81,52	81,52	81,51	81,51	81,51
Beam max extents on WL m	24,16 1	23,0 57	22	21,7	22	23,05 7	24,16 1	24,16 1	20,43 7	18,10 4
Wetted Area m^2	2193, 787	2186 ,22	2171, 775	2169, 061	2171, 776	2186, 217	2193, 783	2204, 69	2237, 615	2258, 107
Waterpl. Area m^2	1568, 588	1529 ,2	1459, 331	1416, 962	1459, 331	1529, 198	1568, 585	1572, 597	1415, 793	1298, 463
Prismatic coeff. (Cp)	0,651	0,64	0,63	0,629	0,63	0,637	0,651	0,67	0,688	0,703
Block coeff. (Cb)	0,395	0,44 5	0,519	0,604	0,519	0,445	0,395	0,382	0,45	0,516
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,94 3	37,9 43	37,94 3	37,93 6	37,94 3	37,94 2	37,94 3	37,95 8	37,97 9	38,00 4
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,74 4	35,5 64	35,08	35,42 5	35,08	35,56 4	36,74 4	38,23 8	40,16 9	41,31 9
Max deck inclination deg	30,00 63	20,0 138	10,03 13	0,796 3	10,03 13	20,01 38	30,00 63	40,00 09	50	60,00 09
Trim angle (+ve by stern) deg	0,743 8	0,80 75	0,808 6	0,796 3	0,808 6	0,807 8	0,743 7	0,381	- 0,113 2	- 0,826 9

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,403	3,018	2,5	1,896	1,258	0,65	0,141	-0,199	-0,295	-0,1	-0,032	0
162,63 96	194,87 09	222,55 15	244,58 37	260,35 89	269,84 67	273,68 72	273,23 77	270,48 62	268,44 59	267,90 41	267,73 57
8212	8212	8212	8212	8212	8213	8212	8212	8212	8212	8212	8212
4,385	1,092	n/a	- 14,702	- 11,528	- 10,588	- 10,243	-10,2	- 10,353	- 10,538	- 10,635	- 10,672
1,294	-7,446	n/a	- 26,031	- 17,227	- 14,102	- 12,417	- 11,368	-10,81	- 10,752	- 10,793	- 10,791
81,408	83,309	84,72	84,971	84,13	82,312	81,771	81,739	81,757	81,792	81,812	81,82
16,827	16,315	15,811	15,912	16,659	18,054	19,705	21,259	22,659	23,073	22,035	21,7
2277,1 04	2289,4 3	2296,6 35	2303,1 23	2312,5 26	2326,8 59	2359,7 97	2418,0 2	2516,9 59	2595,0 35	2603,4 9	2600,3 52
1229,5 69	1188,3 72	1162,0 33	1162,5 35	1191,8 21	1253,0 02	1342,6 25	1455,6 6	1586,4 77	1612,9 14	1557,7 44	1578,2 9
0,716	0,71	0,709	0,718	0,74	0,777	0,812	0,847	0,88	0,899	0,911	0,913
0,578	0,62	0,677	0,596	0,533	0,484	0,446	0,429	0,44	0,503	0,656	0,751
38,037	38,065	38,106	38,126	38,13	38,117	38,089	38,045	38,002	37,989	37,985	37,982
42,262	42,749	42,567	42,145	41,522	40,675	39,572	38,389	37,421	36,637	36,864	36,862
70,002	80,002	90	99,997	109,99	119,99	129,99	140,00	150,00	160,00	170,00	179,92
- 2,1719	- 5,9803	-90	- 7,9133	-4	- 2,4693	- 1,5282	- 0,8207	- 0,3212	- 0,1503	- 0,1105	- 0,0836

Tabla 27. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de local de los Azipod CO1400 inundado



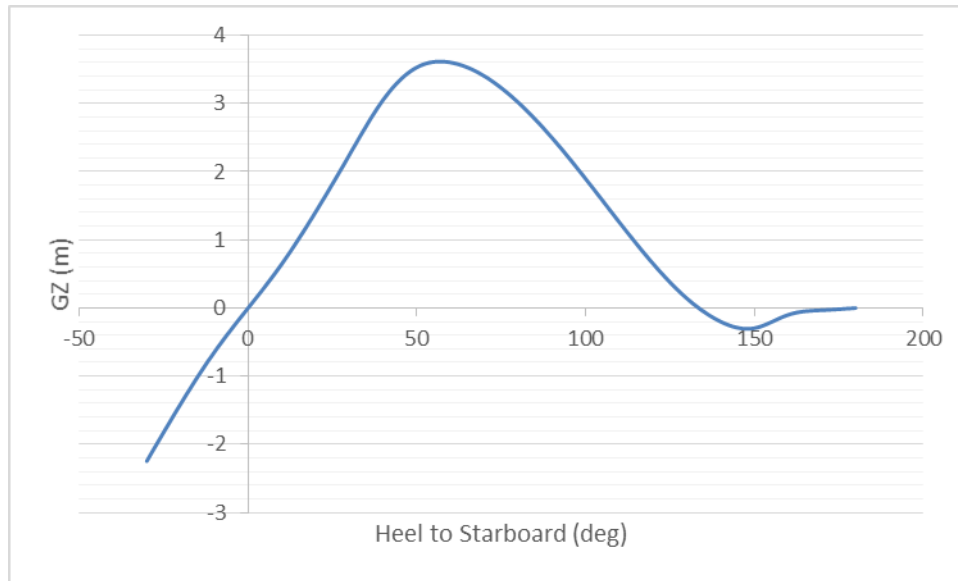


Gráfico 6. Curva GZ para la avería de local de los Azipod CO1400 inundado

## 6.2. Inundación compartimento de carga

La hipótesis en este caso es la inundación de las dos cubiertas de la zona de carga.

### 6.2.1. Situación de carga

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
MDF (Damaged)	Damaged							
MDF (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	3,25	-6,55
MDF	100 %	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	-3,25	-6,55
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	-6,5	-7,638
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	6,5	-7,638
Aceite sucio	100 %	18,57	18,57	20,702	20,702	55,429	-2,275	-6,55
Aguas	100	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	-5,38	-6,773

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

residuales	%							
Aguas residuales	100 %	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	5,38	-6,773
Aguas aceitosas	100 %	6,211	6,211	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,55
Lodos	100 %	11,171	11,171	11,83	11,83	55,429	1,3	-6,55
Sentinas	100 %	8,873	8,873	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,55
Reboses	100 %	5,59	5,59	6,211	6,211	59,654	2,275	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	-1,3	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	1,3	-6,55
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	-3,4	-6,73
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	3,4	-6,73
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	-7,8	-3,431
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	7,8	-3,431
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	-9,736	-1,7
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	9,736	-1,7
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	-8,35	0
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	8,35	0
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	-9,224	-6,2
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	9,224	-6,2
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	-7,15	-5,906
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	7,15	-5,906
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	-5,488	-3,274
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	5,488	-3,274
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	-1,3	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	1,3	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0
Almacén	100	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	-7,747	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

aceite cilindros	%							
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	7,747	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	-9,573	-1,7
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	9,573	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	-8,868	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	8,868	-1,7
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	-8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	-7,448	0,199
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	7,448	0,199
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	-5,583	0,191
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	5,583	0,191
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	-3,4	0,13
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	3,4	0,13
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266
MDF (Damaged)	Dam aged							
MDF (Damaged)	Dam aged							
MDF (Damaged)	Dam aged							
MDF (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							

Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Agua dulce (Damaged)	Damaged							
Agua dulce (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	-7,475	0
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	7,475	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	-4,55	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	4,55	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	-7,13	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	7,13	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	-2,83	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	2,83	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	-4,717	-2,139
Cadenas/Lodos/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	4,717	-2,139
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	-4,72	-1,699
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	4,72	-1,699
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	-3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	22,929	0	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	18,379	0	0
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Total Loadcase			6997,545	2948,24	2692,134	38,844	0	-0,767
FS correction								0
VCG fluid								-0,767

Tabla 28. Situación de carga 1 con la zona de carga inundada

**6.2.2. Posición de equilibrio**

<b>Equilibrio inundación compartimento de carga</b>	
Draft Amidships m	7,456
Displacement t	8145
Heel deg	0
Draft at FP m	7,044
Draft at AP m	7,868
Draft at LCF m	7,509
Trim (+ve by stern) m	0,824
WL Length m	81,505
Beam max extents on WL m	21,7
Wetted Area m <sup>2</sup>	2164,923
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1418,044
Prismatic coeff. (Cp)	0,627
Block coeff. (Cb)	0,601
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,962
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,802
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	38,238
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	35,453
KB m	4,422
KG fluid m	6,506
BMt m	5,72
BML m	74,086
GMt corrected m	3,636
GML m	72,001
KMt m	10,142
KML m	78,504
Immersion (TPc) tonne/cm	14,535
MTc tonne.m	71,953
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	516,796
Max deck inclination deg	0,5791
Trim angle (+ve by stern) deg	0,5791

*Tabla 29. Equilibrio con la zona de carga inundada***6.2.3. Estabilidad a grandes ángulos**

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque 1 con la hipótesis de avería de la zona de carga.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,61	- 1,707	- 0,82	0	0,815	1,706	2,606	3,418	3,849	3,958
Area under GZ curve from zero heel m.deg	38,1 773	16,60 03	4,02 98	- 0,000 6	4,023 7	16,58 77	38,16 05	68,49 05	105,1 515	144,4 101
Displacement t	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
Draft at FP m	7,36	7,64	7,83	7,885	7,825	7,639	7,355	6,96	6,471	5,845
Draft at AP m	9,60	9,853	9,96	10,06	9,957	9,854	9,598	9,191	8,73	8,038
WL Length m	81,5 36	81,54	81,5 41	81,54 3	81,54 1	81,54	81,53 6	81,53	81,52 4	81,51 7
Beam max extents on WL m	24,8 4	23,05 7	22,0 35	21,7	22,03 5	23,05 7	24,84	23,51 8	20,42 8	18,08 4
Wetted Area m^2	2427 ,98	2430, 649	2422 ,55	2416, 862	2422, 542	2430, 633	2427, 973	2453, 152	2462, 355	2463, 965
Waterpl. Area m^2	1518 ,83	1504, 887	1453 ,44	1414, 414	1453, 432	1504, 875	1518, 828	1420, 246	1288, 52	1190, 854
Prismatic coeff. (Cp)	0,54 8	0,531	0,52 3	0,518	0,523	0,531	0,548	0,572	0,598	0,618
Block coeff. (Cb)	0,34 6	0,391	0,44 3	0,501	0,443	0,391	0,346	0,357	0,409	0,468
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,9 35	37,94 6	37,9 49	37,95	37,94 8	37,94 3	37,93 3	37,92 4	37,92	37,92 2
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,6 18	35,75 2	35,5 8	34,98 8	35,58	35,75 2	36,61 7	39,11 4	40,98 1	42,28 5
Max deck inclination deg	30,0 281	20,05 11	10,1 071	1,529	10,10 72	20,05 12	30,02 82	40,01 5	50,00 76	60,00 3
Trim angle (+ve by stern) deg	1,57 55	1,554 7	1,49 79	1,529	1,498 5	1,556 7	1,576 5	1,568 2	1,587 5	1,541 3

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,824	3,532	3,094	2,533	1,914	1,29	0,713	0,255	-0,008	0,05	-0,003	0
183,48 17	220,38 46	253,63 39	281,84 59	304,10 43	320,11 34	330,05 67	334,78 45	335,74 81	335,87 94	336,18 4	336,09 96
8212	8213	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
4,762	1,836	n/a	- 13,993	- 11,155	- 10,321	- 10,037	- 10,042	- 10,243	- 10,479	- 10,628	- 10,672
6,743	3,236	n/a	- 16,896	- 13,294	- 11,985	- 11,266	- 10,805	- 10,603	- 10,668	- 10,773	- 10,791
81,469	83,401	84,73	84,934	84,026	82,097	81,719	81,706	81,735	81,779	81,811	81,82
16,78	16,298	15,858	15,944	16,664	18,069	19,971	21,649	22,985	23,071	22,035	21,7
2462,2 93	2466,5 19	2464,4 41	2456,4 62	2450,3 2	2448,1 05	2454,3 57	2482,6 06	2552,2 53	2607,7 45	2606,0 58	2600,3 53
1152,7 94	1154,2 3	1074,0 91	1074,5 57	1100,9 35	1155,2 26	1235,0 21	1355,7 22	1521,4 64	1565,8 11	1512,0 57	1578,2 9
0,635	0,632	0,635	0,649	0,675	0,716	0,756	0,805	0,856	0,886	0,908	0,913
0,523	0,557	0,614	0,553	0,504	0,463	0,425	0,412	0,428	0,499	0,655	0,751
37,935	37,959	37,978	38,004	38,024	38,037	38,038	38,024	38,001	37,988	37,984	37,982
43,052	43,431	43,675	43,242	42,596	41,683	40,484	39,081	37,62	36,629	36,901	36,862
70,000 7	80	90	99,999 8	109,99 92	119,99 83	129,99 77	139,99 82	149,99 93	159,99 96	169,99 95	179,91 64
1,3923	0,9841	-90	-2,04	1,5034	1,1698	-0,864	0,5365	0,2527	0,1328	0,1014	0,0836

Tabla 30. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de zona de carga inundada

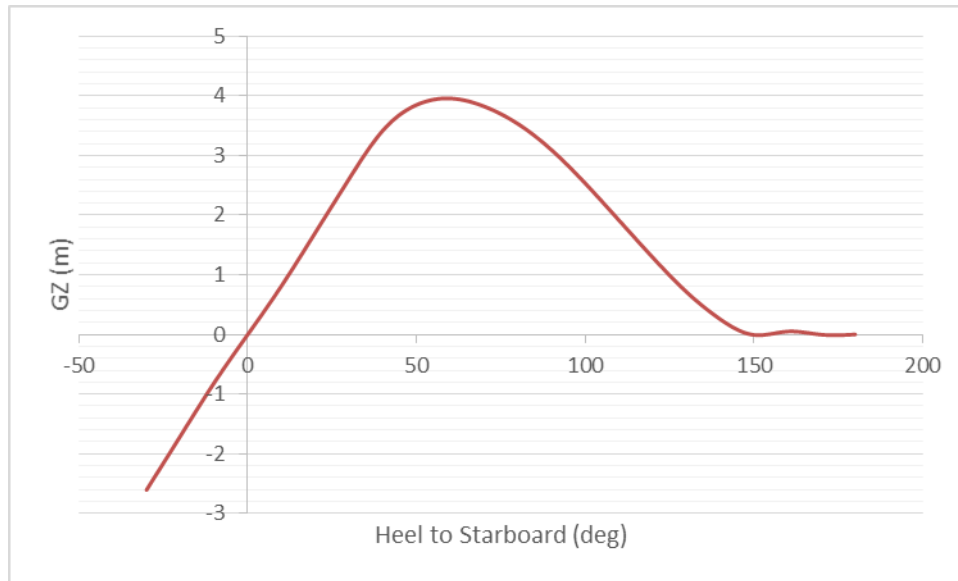


Gráfico 7. Curva GZ para la avería de compartimento de carga inundado

### 6.3. Inundación cámara de máquinas

Se supone ahora la inundación del compartimento de cámara de máquinas.

#### 6.3.1. Situación de carga

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	-0,007	-7,638
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	0,007	-7,638
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	-3,575	-6,55
MDF	100 %	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	3,575	-6,55
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	-7,151	-7,653
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	7,151	-7,653
MDF (Damaged)	Damaged							
MDF (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Aceite sucio (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Aguas aceitosas (Damaged)	Damaged							
Lodos (Damaged)	Damaged							
Sentinas (Damaged)	Damaged							
Reboses (Damaged)	Damaged							
MDF (Damaged)	Damaged							
MDF (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	-0,904	-3,93
Lastre	100 %	43,034	43,034	41,984	41,984	77,005	0,904	-3,93
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	-0,825	0,177
Lastre	100 %	14,14	14,14	13,795	13,795	79,359	0,825	0,177
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	-7,8	-3,431
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	7,8	-3,431
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	-9,736	-1,7
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	9,736	-1,7
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	-8,35	0
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	8,35	0
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							
Aguas residuales (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Lastre (Damaged)	Damaged							
Agua dulce (Damaged)	Damaged							
Agua dulce (Damaged)	Damaged							
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	-1,3	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	1,3	0
Sedimentación (Damaged)	Damaged							
Sedimentación (Damaged)	Damaged							
Servicio diario MDF (Damaged)	Damaged							
Servicio diario MDF (Damaged)	Damaged							
Almacén aceite cilindros (Damaged)	Damaged							



Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Almacén aceite cilindros (Damaged)	Dam aged							
Servicio diario aceite cilindro (Damaged)	Dam aged							
Servicio diario aceite cilindro (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Almacén aceite motores (Damaged)	Dam aged							
Almacén aceite motores (Damaged)	Dam aged							
Almacén aceite motores (Damaged)	Dam aged							
Almacén aceite motores (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	-3,4	0,13
Agua dulce	100 %	48,593	48,593	48,593	48,593	72,043	3,4	0,13
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	-2,616	0,266
Lastre	100 %	12,134	12,134	11,838	11,838	76,173	2,616	0,266
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	-4,525	-3,95
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	4,525	-3,95
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	-4,55	-2,2
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	4,55	-2,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	-9,245	-6,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	9,245	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	-9,182	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	9,182	-6,2
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	-9,1	-6,148
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	9,1	-6,148
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	-9,1	-4,849
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	9,1	-4,849
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	-9,1	-3,954
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	9,1	-3,954
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	-0,007	-4,699

Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	0,007	-4,699
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	-9,904	-1,7
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	9,904	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	-9,964	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	9,964	-1,7
Agua dulce	100%	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	-9,963	0
Agua dulce	100%	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	9,963	0
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	-9,966	-1,7
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	9,966	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	-9,922	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	9,922	-1,7
MDF	100%	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	-7,475	0
MDF	100%	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	7,475	0
Liquid mud	100%	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	-4,55	0
Liquid mud	100%	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	4,55	0
Liquid mud	100%	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	-7,13	0
Liquid mud	100%	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	7,13	0
Agua dulce	100%	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	-2,83	0
Agua dulce	100%	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	2,83	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	100%	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	-4,717	-2,139
Cadenas/Lodos/Salmuera	100%	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	4,717	-2,139
Metanol	100%	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	-4,72	-1,699
Metanol	100%	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	4,72	-1,699
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	-3,279	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	3,279	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	22,929	0	0
Cemento	100%	42,853	42,853	38,957	38,957	18,379	0	0
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	-9,364	-6,2
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	9,364	-6,2
Total Loadcase			7576,02	4685,374	3362,597	36,37	0	-1,041
FS correction								0
VCG fluid								-1,041

Tabla 31. Situación de carga 1 con la cámara de máquinas inundada

**6.3.2. Posición de equilibrio**

<b>Equilibrio inundación cámara de máquinas</b>	
Draft Amidships m	8,003
Displacement t	8212
Heel deg	0
Draft at FP m	8,523
Draft at AP m	7,482
Draft at LCF m	7,908
Trim (+ve by stern) m	-1,041
WL Length m	81,51
Beam max extents on WL m	21,696
Wetted Area m <sup>2</sup>	2258,433
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1374,287
Prismatic coeff. (Cp)	0,591
Block coeff. (Cb)	0,537
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,964
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,777
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,994
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	33,321
KB m	4,727
KG fluid m	6,516
BMt m	5,449
BML m	78,305
GMt corrected m	3,659
GML m	76,516
KMt m	10,175
KML m	83,026
Immersion (TPc) tonne/cm	14,086
MTc tonne.m	77,099
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	524,489
Max deck inclination deg	0,7315
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7315

*Tabla 32. Equilibrio con la cámara de máquinas inundada***6.3.3. Estabilidad a grandes ángulos**

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque 1 con la hipótesis de inundación del compartimento de cámara de máquinas.

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,289	- 1,452	- 0,66	0	0,661	1,452	2,289	3,124	3,606	3,681
Area under GZ curve from zero heel m.deg	32,40 32	13,70 56	3,22 72	- 0,000 6	3,219 9	13,70 25	32,36 1	59,56 39	93,57 73	130,2 927
Displacement t	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
Draft at FP m	8,016	8,229	8,47 9	8,522	8,484	8,232	8,013	7,82	7,596	7,32
Draft at AP m	7,226	7,469	7,48 7	7,483	7,483	7,467	7,228	6,522	5,362	3,585
WL Length m	81,51 7	81,51 8	81,5 22	81,51	81,52 3	81,51 8	81,51 7	81,52	81,52 6	81,53 4
Beam max extents on WL m	24,37 3	23,05 7	22	21,69 6	22	23,05 7	24,37 3	24,03 5	20,43 4	18,09
Wetted Area m^2	2257, 196	2265, 218	2265 ,66	2258, 381	2265, 807	2265, 255	2257, 169	2267, 863	2300, 368	2320, 121
Waterpl. Area m^2	1552, 398	1517, 181	1448 ,84	1374, 256	1449, 207	1517, 159	1552, 44	1566, 315	1395, 341	1280, 789
Prismatic coeff. (Cp)	0,62	0,603	0,59 3	0,591	0,593	0,603	0,62	0,642	0,665	0,681
Block coeff. (Cb)	0,38	0,428	0,49 2	0,537	0,492	0,428	0,38	0,375	0,44	0,506
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,99 7	37,99	37,9 87	37,99 2	37,99 7	37,99 5	37,99 3	38,00 5	38,02 9	38,06 2
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,99 5	35,72 3	34,4 13	33,32	34,42 2	35,72 5	36,99 3	38,36 1	40,03 2	41,18 5
Max deck inclination deg	30,00 35	20,00 6	10,0 233	0,730 3	10,02 38	20,00 61	30,00 34	40,00 51	50,00 75	60,00 87
Trim angle (+ve by stern) deg	- 0,555	- 0,534	- 0,70	- 0,730	- 0,704	- 0,538	- 0,552	- 0,913	- 1,571	- 2,624

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,491	3,123	2,628	2,045	1,419	0,812	0,301	-0,056	-0,186	-0,045	-0,027	0
166,33 02	199,52 28	228,36 33	251,78 48	269,11 58	280,22 38	285,68 35	286,76 17	285,29 27	284,08 64	283,81 93	283,65 09
8212	8212	8212	8212	8212	8213	8212	8212	8212	8212	8212	8212
6,876	5,775	n/a	- 10,158	-9,309	-9,158	-9,226	-9,466	-9,864	-10,29	- 10,608	- 10,672
0,224	-9,522	n/a	- 28,204	- 18,334	- 14,845	- 12,959	- 11,776	- 11,087	- 10,889	- 10,809	- 10,791
82,259	84,238	85,038	84,663	83,334	81,637	81,621	81,63	81,673	81,743	81,807	81,82
16,756	16,187	15,951	15,96	16,661	18,064	19,782	21,399	22,827	23,075	22,035	21,7
2334,2 97	2343,2 13	2347,5 01	2349,6 23	2354,4 62	2366,8 73	2392,2 9	2443,9 11	2533,3 68	2602,7 13	2604,2 04	2600,3 52
1214,5 15	1180,3 71	1164,7 04	1163,5 75	1190,5 56	1247,7 3	1334,6 61	1433,0 59	1559,5 92	1578,9 3	1534,3 88	1578,2 9
0,689	0,684	0,689	0,704	0,73	0,765	0,793	0,83	0,866	0,89	0,91	0,913
0,563	0,606	0,643	0,576	0,522	0,475	0,434	0,419	0,431	0,499	0,655	0,751
38,101	38,143	38,183	38,21	38,218	38,207	38,174	38,126	38,067	38,019	37,994	37,982
42,157	42,839	42,97	42,469	41,741	40,754	39,537	38,149	36,719	35,48	35,985	36,862
70,008	80,005	90	99,993	109,99	119,98	129,98	139,98	149,99	160,00	170,00	179,92
- 4,6658	- 10,630	-90	- 12,485	- 6,3189	- 3,9916	- 2,6228	- 1,6232	- 0,8595	- 0,4208	- 0,1412	- 0,0836

Tabla 33. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de cámara de máquinas inundada

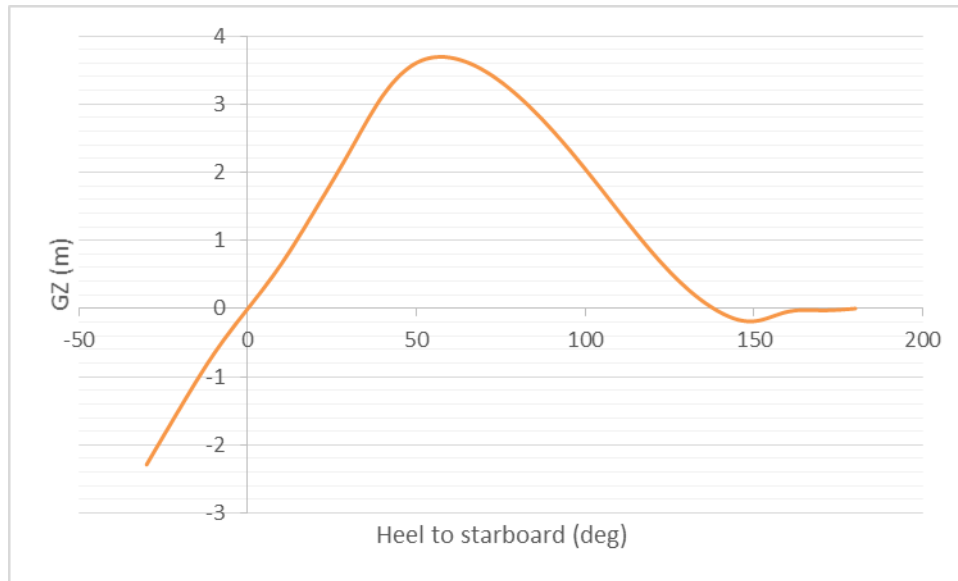


Gráfico 8. Curva GZ para la avería de cámara de máquinas inundada

#### 6.4. Inundación sala de hélices de proa

Se estudia en este apartado la hipótesis de inundación de la zona del pique de proa y compartimento de los propulsores transversales.

##### 6.4.1. Situación de carga

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	3982	3982			42,15	0	-0,46
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	-0,007	-7,638
Lastre	0%	48,462	0	47,28	0	35,881	0,007	-7,638
MDF	100%	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	-3,575	-6,55
MDF	100%	43,919	43,919	48,799	48,799	40,804	3,575	-6,55
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	-7,151	-7,653
Lastre	0%	38,206	0	37,274	0	38,88	7,151	-7,653
MDF	100%	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	3,25	-6,55
MDF	100%	26,617	26,617	29,575	29,575	48,929	-3,25	-6,55
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	-6,5	-7,638
Lastre	0%	15,84	0	15,454	0	45,753	6,5	-7,638
Aceite sucio	100%	18,57	18,57	20,702	20,702	55,429	-2,275	-6,55
Aguas residuales	100%	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	-5,38	-6,773
Aguas	100	16,227	16,227	16,227	16,227	55,72	5,38	-6,773

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

residuales	%							
Aguas aceitosas	100 %	6,211	6,211	6,211	6,211	59,654	-2,275	-6,55
Lodos	100 %	11,171	11,171	11,83	11,83	55,429	1,3	-6,55
Sentinas	100 %	8,873	8,873	8,873	8,873	55,429	3,575	-6,55
Reboses	100 %	5,59	5,59	6,211	6,211	59,654	2,275	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	-1,3	-6,55
MDF	100 %	12,776	12,776	14,196	14,196	64,529	1,3	-6,55
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	-3,4	-6,73
Aguas residuales	100 %	12,098	12,098	12,098	12,098	64,699	3,4	-6,73
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	-7,8	-3,431
Lastre	0%	15,497	0	15,119	0	6,641	7,8	-3,431
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	-9,736	-1,7
Lastre	0%	38,8	0	37,853	0	3,615	9,736	-1,7
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	-8,35	0
Agua dulce	100 %	33,768	33,768	33,768	33,768	3,387	8,35	0
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	-9,224	-6,2
Lastre	0%	14,167	0	13,821	0	46,394	9,224	-6,2
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	8,119	-3,935
Aguas residuales	100 %	45,297	45,297	45,297	45,297	48,265	-8,119	-3,935
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	-7,15	-5,906
Lastre	0%	11,144	0	10,872	0	56,696	7,15	-5,906
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	-5,488	-3,274
Agua dulce	100 %	42,523	42,523	42,523	42,523	64,215	5,488	-3,274
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	-1,3	0
MDF	100 %	25,857	25,857	28,73	28,73	47,304	1,3	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	-8,125	0
Sedimentación	100 %	31,028	31,028	34,476	34,476	48,279	8,125	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	-7,974	0
Servicio diario MDF	100 %	14,545	14,545	16,161	16,161	52,244	7,974	0
Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	-7,747	0

Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Almacén aceite cilindros	100 %	3,543	3,543	3,95	3,95	54,277	7,747	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	-7,656	0
Servicio diario aceite cilindro	100 %	2,004	2,004	2,234	2,234	55,096	7,656	0
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	-9,573	-1,7
Lastre	0%	20,242	0	19,749	0	47,926	9,573	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	-8,868	-1,7
Lastre	0%	15,564	0	15,184	0	53,218	8,868	-1,7
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	-8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	7,521	7,521	8,384	8,384	56,064	8,13	0,171
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	-7,448	0,199
Almacén aceite motores	100 %	28,996	28,996	32,326	32,326	59,352	7,448	0,199
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	-5,583	0,191
Agua dulce	100 %	49,73	49,73	49,73	49,73	66,225	5,583	0,191
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Agua dulce (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
Lastre (Damaged)	Dam aged							
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	-4,525	-3,95
MDF	100 %	433,968	433,968	482,186	482,186	36,904	4,525	-3,95
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	-4,55	-2,2
MDF	100 %	79,853	79,853	88,725	88,725	11,554	4,55	-2,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	-9,245	-6,2
Lastre	0%	64,855	0	63,273	0	40,339	9,245	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	-9,182	-6,2
Lastre	0%	73,503	0	71,71	0	34,142	9,182	-6,2
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	-9,1	-6,148
Lastre	0%	45,144	0	44,043	0	30,031	9,1	-6,148
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	-9,1	-4,849
Lastre	0%	25,049	0	24,438	0	21,588	9,1	-4,849
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	-9,1	-3,954
Lastre	0%	15,373	0	14,998	0	14,435	9,1	-3,954
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	-0,007	-4,699
Lastre	0%	122,147	0	119,168	0	16,374	0,007	-4,699
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	-9,904	-1,7
Lastre	0%	29,665	0	28,942	0	41,054	9,904	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	-9,964	-1,7
Lastre	0%	50,887	0	49,646	0	34,305	9,964	-1,7

Agua dulce	100 %	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	-9,963	0
Agua dulce	100 %	49,612	49,612	49,612	49,612	25,852	9,963	0
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	-9,966	-1,7
Lastre	0%	43,165	0	42,112	0	18,053	9,966	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	-9,922	-1,7
Lastre	0%	47,08	0	45,932	0	10,67	9,922	-1,7
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	-7,475	0
MDF	100 %	109,892	109,892	122,102	122,102	38,204	7,475	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	-4,55	0
Liquid mud	100 %	125,837	125,837	50,335	50,335	40,882	4,55	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	-7,13	0
Liquid mud	100 %	261,222	261,222	104,489	104,489	10,579	7,13	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	-2,83	0
Agua dulce	100 %	81,151	81,151	81,151	81,151	10,579	2,83	0
Cadenas/Lodos/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	-4,717	-2,139
Cadenas/Lodos/Salmuera	100 %	233,863	233,863	254,198	254,198	26,222	4,717	-2,139
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	-4,72	-1,699
Metanol	100 %	114,463	114,463	143,079	143,079	19,712	4,72	-1,699
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	-3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	32,679	3,279	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	22,929	0	0
Cemento	100 %	42,853	42,853	38,957	38,957	18,379	0	0
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	-9,364	-6,2
Lastre	0%	20,09	0	19,6	0	44,613	9,364	-6,2
Total Loadcase			7976,445	5271,295	3798,357	36,873	0	-1,179
FS correction								0
VCG fluid								-1,179

*Tabla 34. Situación de carga 1 con la inundación del local de las hélices de proa*



**6.4.2. Posición de equilibrio**

<b>Equilibrio inundación sala hélices de proa</b>	
Draft Amidships m	7,592
Displacement t	8212
Heel deg	0
Draft at FP m	7,624
Draft at AP m	7,561
Draft at LCF m	7,587
Trim (+ve by stern) m	-0,062
WL Length m	81,498
Beam max extents on WL m	21,697
Wetted Area m <sup>2</sup>	2189,017
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1426,588
Prismatic coeff. (Cp)	0,622
Block coeff. (Cb)	0,595
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,963
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,807
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,972
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	33,593
KB m	4,474
KG fluid m	6,516
BMt m	6,106
BML m	74,325
GMt corrected m	4,063
GML m	72,283
KMt m	10,58
KML m	78,799
Immersion (TPc) tonne/cm	14,623
MTc tonne.m	72,833
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	582,365
Max deck inclination deg	0,0437
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,0437

*Tabla 35. Equilibrio con la sala de hélices de proa inundada***6.4.3. Estabilidad a grandes ángulos**

Se obtiene la curva GZ en función del ángulo de escora para la situación de carga de buque 1 con la hipótesis de avería del local de los propulsores transversales de proa.

Heel to Starboard (deg)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	- 2,31	- 1,497	-0,72	0	0,719	1,496	2,311	3,103	3,58	3,641
Area under GZ curve from zero heel m.deg	33,6 306	14,60 49	3,569 5	- 0,000 6	3,562 6	14,59 58	33,60 1	60,80 31	94,5 616	130,9 595
Displacement t	8211	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212
Draft at FP m	7,37	7,482	7,589	7,624	7,591	7,48	7,368	7,242	7,01	6,619
Draft at AP m	7,23	7,511	7,564	7,561	7,562	7,513	7,237	6,482	5,23	3,36
WL Length m	81,5 13	81,51 3	81,51 1	81,49 8	81,51 1	81,51 3	81,51 3	81,51 5	81,5 2	81,52 8
Beam max extents on WL m	24,1 89	23,05 7	21,99 9	21,69 7	21,99 9	23,05 7	24,19	24,14 5	20,4 37	18,09 1
Wetted Area m^2	2203 ,55	2203, 706	2191, 822	2189, 03	2191, 877	2203, 661	2203, 645	2213, 617	2248 ,95	2271, 44
Waterpl. Area m^2	1536 ,07	1494, 786	1446, 854	1426, 591	1446, 866	1494, 796	1536, 165	1560, 129	1397 ,96	1279, 795
Prismatic coeff. (Cp)	0,65	0,63	0,624	0,622	0,624	0,63	0,646	0,666	0,69	0,702
Block coeff. (Cb)	0,39	0,442	0,514	0,595	0,514	0,442	0,393	0,381	0,45	0,516
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	37,9 78	37,97 7	37,97 1	37,97 3	37,97 4	37,97 4	37,97 3	37,98 8	38,0 26	38,05 9
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	36,5 32	34,85 1	33,83 1	33,59 3	33,83 2	34,84 9	36,52 9	37,95 3	39,7 33	40,82 5
Max deck inclination deg	30,0	20	10	0,044	10	20	30,00	40,00	50,0	60,01
Trim angle (+ve by stern) deg	- 0,09 62	- 0,020 4	- 0,017 7	- 0,044 4	- 0,020 2	- 0,023 2	- 0,092	- 0,534 1	- 1,24 66	- 2,289 9

70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3,427	3,024	2,491	1,877	1,235	0,623	0,109	-0,243	-0,353	-0,145	-0,038	0
166,47 79	198,86 32	226,52 16	248,40 75	263,96 97	273,20 38	276,75 1	275,92 77	272,66 3	270,08 33	269,29 45	269,12 06
8212	8212	8212	8212	8212	8212	8212	8213	8212	8212	8212	8212
5,896	3,75	n/a	-12,52	-10,45	-9,884	-9,746	-9,864	-10,15	-10,46	-10,63	-10,67
-0,143	- 10,188	n/a	- 28,513	- 18,439	- 14,878	- 12,954	- 11,741	- 11,047	- 10,858	- 10,805	- 10,791
81,69	83,882	84,935	84,865	83,769	81,765	81,687	81,685	81,719	81,775	81,811	81,82
16,785	16,263	15,852	15,931	16,659	18,052	19,684	21,216	22,6	23,075	22,035	21,7
2284,3 89	2295,0 95	2299,5 84	2303,3 75	2311,4 05	2326,4 03	2356,9 3	2413,1 73	2509,5 34	2591,7 09	2602,9 88	2600,3 52
1200,6 17	1158,5 87	1143,8 87	1153,2 13	1187,8 41	1243,6 15	1325,7 22	1432,6 36	1571,7 25	1621,0 95	1576,6 87	1578,2 9
0,713	0,706	0,709	0,722	0,746	0,785	0,814	0,85	0,884	0,902	0,911	0,913
0,578	0,62	0,668	0,592	0,532	0,485	0,444	0,429	0,441	0,504	0,656	0,751
38,096	38,136	38,163	38,188	38,195	38,183	38,152	38,094	38,043	38,004	37,987	37,982
41,439	41,889	42,053	41,887	41,415	40,42	39,164	37,919	36,728	35,918	36,459	36,862
70,006 7	80,004 5	90	99,994 1	109,98 83	119,98 45	129,98 46	139,98 94	149,99 55	159,99 83	169,99 93	179,91 64
-4,238	- 9,7044	-90	- 11,102 9	- 5,5974	- 3,5064	- 2,2538	- 1,3189	- 0,6315	- 0,2815	- 0,1242	- 0,0836

Tabla 36. Estabilidad a grandes ángulos para la avería de local hélices de proa inundado

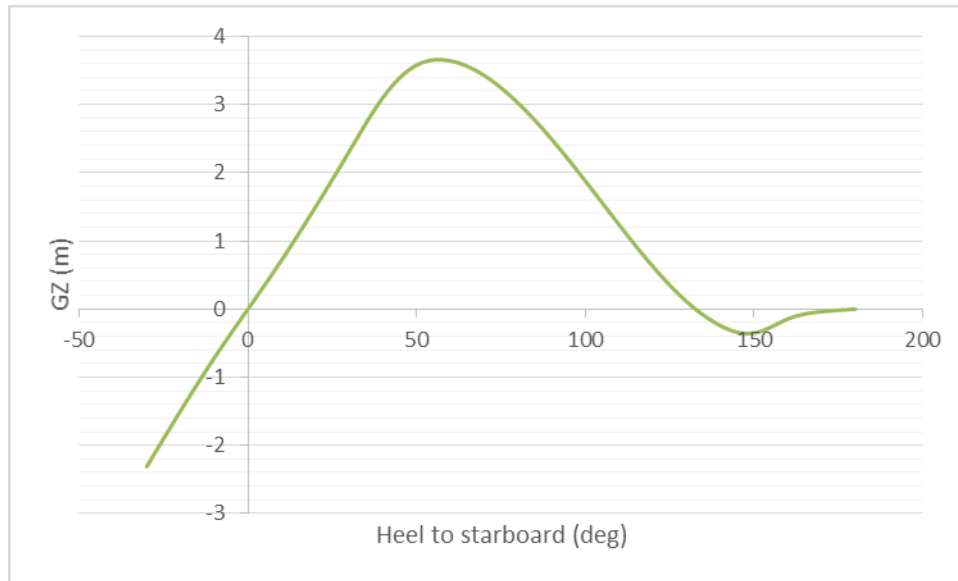


Gráfico 9. Curva GZ para la avería de sala de hélices de proa inundada

## **7. Tabla resumen y análisis de las situaciones de carga**

En base a los cálculos realizados en este cuaderno se puede comprobar que el buque proyecto, para todas las situaciones de carga analizadas, cumple con los criterios mínimos establecidos en la normativa vigente.

En las situaciones de carga 1 y 2, fue necesario llenar los tanques de lastre del pique de proa, con el fin de evitar un trimado excesivo. Para la situación de carga 5, con 50 % de carga, 50 % de consumos y 400 t en popa, se supuso un llenado de los tanques de lastre de forma que la posición de equilibrio del buque proyecto fuera la más adecuada.

Los valores del calado de diseño, 7,70 m, y el desplazamiento calculado en el cuaderno 3, 8482 toneladas, son muy aproximados a los obtenidos en las situaciones de carga 1 y 3, buque a la salida de viaje (100 % carga, 100 % de consumos) y buque en lastre (0 % carga, 100 % consumos) respectivamente. En el resto de situaciones de carga no se superan los parámetros de diseño por lo que se espera que la operatividad del buque no se verá afectada negativamente en cuanto a la potencia instalada para alcanzar la velocidad de servicio, 17 nudos.

Otra de las conclusiones a las que se puede llegar después del análisis realizado es que el calado en popa, en todas las situaciones estudiadas, es el suficiente para asegurar la inmersión total de los propulsores Azipod.

En la siguiente tabla se puede ver un resumen del cumplimiento de los criterios de estabilidad exigidos por la reglamentación para cada situación de carga.

Situación de carga	Estabilidad sin avería	Avería para situación de carga 1	Estabilidad con avería
<b>Situación 1</b>	Cumple	Inundación local de los Azipod CO1400	Cumple
<b>Situación 2</b>	Cumple	Inundación zona de carga	Cumple
<b>Situación 3</b>	Cumple	Inundación cámara de máquinas	Cumple
<b>Situación 4</b>	Cumple	Inundación sala de hélices de proa	Cumple
<b>Situación 5</b>	Cumple		

*Tabla 37. Resumen de las situaciones de carga*



## **8. Bibliografía general.**

### **8.1. Bibliografía básica**

- [1] Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), adoptado el 4 de Diciembre de 2008 mediante Resolución MSC 367(85).
- [2] Orden de 16 de marzo de 1979 sobre normas de estabilidad para buques de suministro de las plataformas de perforación en alta mar:  
[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1979-10226](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1979-10226)
- [3] *Convenio SOLAS*. OMI.
- [4] Resolución A.534(13) de la OMI. *Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales*.
- [5] *Protocolo de 1988 relativo al Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966*. OMI.

### **8.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Maersk Launcher. <> <http://www.flickr.com/>
- [2] Apuntes Hidrostática y Estabilidad. ETSIN.
- [3] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 13**

**Presupuesto**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Cálculo del presupuesto del buque proyecto.....</b>	<b>4</b>
2.1. Casco.....	4
2.1.1. Acero laminado.....	5
2.1.2. Fabricación y movimiento de bloques.....	5
2.1.3. Preparación de superficies.....	5
2.1.4. Pinturas y control de corrosión.....	6
2.2. Equipo, armamento e instalaciones.....	6
2.2.1. Servicios de baldeo y contra incendios.....	7
2.2.2. Sistemas de salvamento.....	7
2.2.3. Servicios de la habilitación.....	7
2.2.4. Instalación eléctrica y sistema de alumbrado.....	8
2.2.5. Armamento.....	8
2.2.6. Sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones.....	9
2.2.7. Equipos para el remolque y manejo de anclas.....	9
2.2.8. Servicios de la carga.....	9
2.3. Maquinaria auxiliar de cubierta.....	9
2.4. Instalación propulsora.....	10
2.4.1. Grupos electrógenos Wärtsilä 9L34DF.....	10
2.4.2. Propulsores Azipod CO1400.....	10
2.4.3. Propulsores de proa.....	10
2.5. Maquinaria auxiliar de propulsión.....	10
2.5.1. Grupo electrógeno de emergencia y puerto.....	10
2.5.2. Equipo de circulación, refrigeración y lubricación.....	11
2.5.3. Equipo de arranque de motores.....	11
2.5.4. Equipo de trasiego de combustible.....	11
2.5.5. Equipo de purificación.....	11
2.5.6. Equipo auxiliar de casco.....	11
2.5.7. Equipo sanitario.....	12
2.5.8. Varios.....	12
<b>3. Astillero y seguros.....</b>	<b>12</b>
3.1. Presupuesto de la mano de obra.....	12
3.1.1. Mano de obra de la ingeniería.....	13
3.1.2. Mano de obra del acero.....	13
3.1.3. Mano de obra del armamento.....	13
3.2. Costes indirectos del astillero.....	13
3.3. Beneficio del astillero.....	14
3.4. Seguros.....	14
<b>4. Resumen del presupuesto.....</b>	<b>15</b>
<b>5. Bibliografía general.....</b>	<b>16</b>
5.1. Bibliografía básica.....	16
5.2. Bibliografía complementaria.....	16

## **Figuras**

Figura 1. Resumen del presupuesto del buque proyecto .....	15
--	----

## **Tablas**

Tabla 1. Presupuesto de los seguros para la construcción de buque proyecto .....	14
--	----



## **1. Introducción**

El último paso del proyecto es la estimación del presupuesto del buque para el astillero. Siempre que sea posible, el precio de los equipos se obtendrá con los catálogos y datos reales de los fabricantes. Si esto no fuera posible, habrá que recurrir a aproximaciones.

Por lo tanto, el objetivo de este cuaderno es realizar una estimación del coste de construcción del buque proyecto, incluyendo los costes de materiales y mano de obra, además de otros costes del astillero, seguros, etc., pero sin incluir los gastos financieros que pudieran derivarse de esta construcción. No obstante, será complicado estimar de forma muy precisa el coste del buque, ya que está sujeto a las variaciones del mercado.

## **2. Cálculo del presupuesto del buque proyecto**

El formato del presupuesto debería hacerse según lo establecido en la Marina Mercante:

- *Casco*. En esta partida se incluyen los costes de construcción de la estructura de acero del buque proyecto, así como todos los que están referidos a procesos propios de soldadura, preparación de superficies y pintado y control de corrosión.
- *Equipo, armamento e instalaciones*. Se consideran los costes de armamento de los equipos de fondeo, amarre y remolque junto con los costes de los medios de salvamento, habilitación, alojamientos, equipos de navegación y comunicación, instalaciones eléctricas y tuberías.
- *Maquinaria auxiliar de cubierta*. Aparecen asociados los costes del equipo de gobierno y toda la maquinaria del equipo de fondeo, amarre, remolque y manejo de anclas.
- *Instalación propulsora*. Los costes en esta partida son los debidos a la adquisición e instalación de los grupos electrógenos, propulsores Azipod y propulsores transversales.
- *Maquinaria auxiliar de propulsión*. Grupo generador de emergencia, equipos de circulación, refrigeración y lubricación de la planta propulsora y sistemas auxiliares.
- *Gastos varios del astillero*. Cubre los diferentes costes que son inherentes a la construcción en un astillero. Se analiza en el apartado siguiente.

Los datos necesarios para la evaluación de los costes de construcción del buque proyecto han sido obtenidos de otros buques similares, como los incluidos en la base de datos del cuaderno 2, de proyectos académicos existentes en el archivo de la biblioteca de la ETSI Navales, de la información obtenida de los fabricantes de los equipos elegidos en este trabajo (Wärtsilä, ABB Group, Azcue, Rolls-Royce), además de algunos datos facilitados al autor por el Astillero Zamakona.

### **2.1. Casco**

El precio del casco se puede dividir en el precio del acero laminado, el coste de los trabajos de fabricación y movimiento de bloques, la preparación de superficies y el coste de la pintura y elementos de control de la corrosión.

### 2.1.1. Acero laminado

Se calcula su valor en función del peso del acero calculado en el cuaderno 11 y del precio del acero laminado. Además se ha tomado un margen del 15 % ya que en el peso del acero bruto debe tenerse en cuenta las pérdidas de acero en el proceso de anidado y los excesos de peso de laminación. El precio del acero laminado ronda actualmente (Septiembre 2014) los 744 \$/t, es decir, 641,5 €/t. Entonces el precio del acero del casco se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} P_{\text{acero laminado}} &= 1,15 \cdot C_{\text{acero}} \left( \frac{\text{€}}{t} \right) \cdot \Delta_{\text{acero}}(t) = 1,15 \cdot 641,5 \frac{\text{€}}{t} \cdot 1784,9t \\ &= \mathbf{1316765 \text{ €}} \end{aligned}$$

### 2.1.2. Fabricación y movimiento de bloques

En este apartado se incluyen todos los procesos y procedimientos de fabricación y elaboración necesarios para la construcción de los bloques del casco del buque, como pueden ser los procesos de corte y curvado y los procesos de unión. Se incluye también, dentro de esta partida, el coste del movimiento de los bloques, una vez se decide su traslado de los talleres de prefabricación a la grada de construcción. Para la estimación de coste de esta última partida se ha tenido en cuenta el posible alquiler, por parte del astillero, de grúas autopropulsadas y camiones especiales.

Además, se incluirán aquí las piezas fundidas y forjadas dispuestas en la estructura de la unidad, cuyo coste se estima a partir de las dimensiones principales del buque proyecto y es, aproximadamente, 2600 €.

Debido a la complejidad de establecer un precio para cada procedimiento, se ha decidido hacer una estimación del coste de todos estos trabajos de **220000 €**.

### 2.1.3. Preparación de superficies

Se incluye en esta partida el chorreo, cepillado e imprimación de superficies, además del decapado de tuberías. Se puede estimar mediante datos de buques similares, siendo el coste total **150000€**.

### 2.1.4. Pinturas y control de corrosión

Esta partida incluye el coste de pintura exterior e interior del casco, pintura de tuberías, galvanizados y protección catódica por ánodos de sacrificio.

El coste estimado de los materiales de pintura es de 12 €/m<sup>2</sup>, tanto para la pintura exterior de la obra viva y la obra muerta, como para la pintura interior del buque.

$$P_{pintura} = C_{pintura}(\text{€/m}^2) \cdot [A_{obra\ viva}(\text{m}^2) + A_{obra\ muerta}(\text{m}^2) + A_{interior}(\text{m}^2)]$$

- $P_{pintura}$ : precio total de la pintura del buque proyecto (€),
- $A_{obra\ viva}$ : área total de la obra viva del buque proyecto (m<sup>2</sup>).
- $A_{obra\ muerta}$ : área total de la obra muerta del buque proyecto (m<sup>2</sup>).
- $A_{interior}$ : área total para la aplicación de la pintura interior del buque proyecto (m<sup>2</sup>).

El coste de la pintura de tuberías se puede estimar mediante la expresión:

$$P_{tuberías} = 0,3 \cdot (0,057 \cdot BHP + 0,18 \cdot L)$$

Por otro lado, el coste del galvanizado se puede estimar como el 7,5 % del coste total del pintado del buque.

El coste de la protección catódica puede estimarse mediante la siguiente expresión, siendo  $S_m$  la superficie mojada:

$$P_{corrosión} = 1,5 \cdot S_m$$

Finalmente, el precio total de esta partida es:

$$\begin{aligned} P_{pintura\ y\ corrosión} &= P_{pintura} + P_{tuberías} + P_{galvanizado} + P_{corrosión} \\ &= 115200\text{€} + 5990\text{€} + 9345 + 3400\text{€} = \mathbf{133935\text{€}} \end{aligned}$$

### 2.2. Equipo, armamento e instalaciones

En este apartado se incluye el precio de los equipos del buque proyecto que se definieron en el cuaderno 8, *Equipos y servicios*, sin tener en cuenta el equipo de fondeo y amarre. También se tendrá en cuenta en este apartado el armamento del casco.

### 2.2.1. Servicios de baldeo y contra incendios

El coste de los medios contraincendios se puede estimar mediante las dimensiones de la cámara de máquinas a través de la expresión siguiente ( $L_m$ ,  $B$  y  $D_m$  son la eslora, manga y puntal de la cámara de máquinas).

$$P_{CI} = 12,83 \cdot L_m \cdot B \cdot D_m = 12,83 \cdot 24,05m \cdot 21,7m \cdot 7,9m = \mathbf{52897€}$$

### 2.2.2. Sistemas de salvamento

El coste de los diferentes equipos se desglosa de esta forma:

- *Bote de rescate*. Se estima un precio de **6000 €**.
- *Balsas salvavidas*. Se estima un coste por cada balsa de **4000 €**. Son 6 balsas con capacidad para 25 personas cada una.
- *Medios de embarco y puesta a flote*. El coste de estos medios se estima en **20000 €**.
- *Otros*. Dentro de estos se incluye el coste de los chalecos salvavidas, trajes de inmersión, ayudas térmicas, aros salvavidas, elementos de señalización, aparatos lanzacabos y lámpara de señales. Se estiman **6000 €** para estos elementos.

### 2.2.3. Servicios de la habilitación

Se indican a continuación los costes de este servicio:

- *Acomodación*. La fabricación de los módulos de acomodación se considera que alcanzará un precio final de **350000 €**.
- *Sistema de climatización*. Se decidió instalar una unidad de aire acondicionado para la habilitación y otra unidad independiente para la climatización del puente de gobierno. El coste total se estima en **60000 €**.
- *Cocina*. Este coste se puede estimar mediante la expresión:

$$P_{coc} = \frac{70 \cdot N \cdot 1000}{166,4}$$

Siendo  $N$  el número de tripulantes, luego  $N = \mathbf{18930}$  €.

- *Gambuza*. Su coste se estima a través de la expresión:

$$P_{gambuza} = 1,75 \cdot 300 \cdot (V_{gambuza})^{\frac{2}{3}}$$

Siendo  $V_{gambuza}$  el volumen de la gambuza en metros cúbicos. Por lo tanto,  $P_{gambuza} = \mathbf{23680 €}$ .

- *Lavandería*. El coste de la lavandería se puede estimar que es aproximadamente 250 €/pers, luego **11250 €**.

- *Otros.* Se toma un porcentaje del 1 % sobre el coste total de todos los servicios de habilitación, por lo que habrá que añadir **5000 €**.

Por lo tanto, el coste total final de los servicios de habilitación es de **468500 €**.

#### 2.2.4. Instalación eléctrica y sistema de alumbrado

Este presupuesto puede estimarse mediante la potencia instalada en kW:

$$P_{electr} = 6,01 \cdot 80 \cdot (P_{electr})^{0,77}$$

Con lo cual, el coste total de las instalaciones eléctricas y alumbrado es de **261528 €**.

#### 2.2.5. Armamento

- *Tuberías.* El coste de las tuberías puede estimarse mediante la expresión siguiente:

$$P_{tuberías} = 6,01 \cdot [450 + (0,015 \cdot L_m \cdot B_m \cdot D_m + 0,18 \cdot L) + BHP + 0,25 \cdot (3 \cdot L_m \cdot D_m \cdot B_m + Q_q + 4 \cdot A_h)]$$

Siendo  $L_m$ ,  $B_m$  y  $D_m$  las dimensiones de la cámara de máquinas,  $Q_q$  el volumen de bodegas y  $A_h$  el área de la habilitación. Por lo tanto, el coste de las tuberías se estima en **150670 €**.

- *Servicios de accesos y otros sistemas auxiliares.* El coste de adquisición imputable a esta partida se desglosa en:

- Puertas metálicas, ventanas y portillos:

$$P = 4124,45 \cdot N^{0,48}$$

- Escaleras, pasamanos y candeleros:

$$P = 33,91 \cdot L^{1,6}$$

- Escotillas de acceso, lumbreras y registros:

$$P = 19,25 \cdot L^{1,5}$$

- Accesorios de fondeo y amarre:

$$P = 28,41 \cdot (L \cdot (B + D))^{0,815}$$

- Fundas y accesorios de estiba de respetos:

$$P = 57,74 \cdot (L \cdot (B + D))^{0,68}$$

Con lo cual, el total de costes de estos servicios es de **111905 €**.

### **2.2.6. Sistemas de ayudas a la Navegación y Comunicaciones**

Los equipos y aparatos de Navegación y comunicaciones del buque proyecto se eligieron en base a las indicaciones del Convenio SOLAS relativos a las radiocomunicaciones y la seguridad de la navegación.

Están incluidos en esta partida los costes del sistema de posicionamiento dinámico.

Por lo tanto, el coste total de los equipos de navegación se estima en **200000 €**. El de los equipos auxiliares de navegación en **5000 €**. El de los equipos de comunicaciones externas en **55000 €**. Y, por último, el de los equipos de comunicaciones internas en **5000 €**.

### **2.2.7. Equipos para el remolque y manejo de anclas**

Para el conjunto de elementos que se requieren para el remolque y manejo de anclas se estima un coste de **2000000 €**.

### **2.2.8. Servicios de la carga**

Se trata de las bombas, compresores y grúas para el manejo de la carga, explicados en el cuaderno 8. En total se decidió instalar ocho bombas para la carga/descarga de los tanques del buque proyecto, una unidad hidráulica, dos compresores para soplado de áridos y el conjunto de grúas que se disponen en distintas cubiertas del buque proyecto (grúas puente y grúas electro-hidráulicas).

El presupuesto total de esta partida se estima en **500000 €**.

## **2.3. Maquinaria auxiliar de cubierta**

En este apartado se presupuesta el sistema de fondeo y amarre del buque proyecto, estimándolo a partir de fórmulas y datos de otros buques y proyectos similares.

El coste del molinete del ancla se estima en **55000 €**.

El precio de las anclas se estima en **25000 €** cada una, mientras que el de las cadenas, estachas y cables se puede estimar mediante la expresión siguiente:

$$P_{fondeo\ y\ amarre} = 0,05 \cdot d^2 \cdot L_c$$

- d: diámetro del eslabón (58 mm).

- $L_c$ : longitud total de cadenas (550 m).

Por lo tanto,  $P_{fondeo\ y\ amarre} = 92510\ €$ .

## **2.4. Instalación propulsora**

Dentro de la instalación propulsora se incluirán los grupos electrógenos que proporcionan la energía principal al buque proyecto, los propulsores principales Azipod CO1400 y los propulsores transversales de proa.

### **2.4.1. Grupos electrógenos Wärtsilä 9L34DF**

Se estima que el conjunto de los 4 grupos electrógenos tienen un precio total de **3000000 €**.

### **2.4.2. Propulsores Azipod CO1400**

El buque proyecto está equipado con dos propulsores Azipod el grupo ABB, modelo CO1400, con motores síncronos de 4500 kW de potencia.

El presupuesto estimado para ambos propulsores es de **400000 €**.

### **2.4.3. Propulsores de proa**

Se eligieron dos propulsores transversales de proa de la casa Wärtsilä, modelo CT/FT200M con una potencia máxima de 1200 kW. El precio estimado total para estos equipos es de **160000 €**.

## **2.5. Maquinaria auxiliar de propulsión**

### **2.5.1. Grupo electrógeno de emergencia y puerto**

En el cuaderno 9 se eligió el grupo Wärtsilä Genset W 6L20DF, de 876kW, de potencia como grupo de emergencia y puerto.

Se estima el coste total de este grupo en **400000 €**.



### 2.5.2. Equipo de circulación, refrigeración y lubricación

El coste de esta partida puede estimarse mediante la expresión siguiente:

$$P = 6,01 \cdot 3,4 \cdot BHP_{total}$$

Por lo tanto, **331000 €**.

### 2.5.3. Equipo de arranque de motores

El presupuesto de este equipo se puede estimar según el número de compresores de aire (2) y el caudal unitario de cada uno (15 m<sup>3</sup>/h).

$$P_{arranque} = 6,01 \cdot 13 \cdot N_{comp} \cdot Q_{comp}$$

El precio de este equipo es, entonces, **2400 €**.

### 2.5.4. Equipo de trasiego de combustible

El presupuesto de este equipo se estima en **7000 €**.

### 2.5.5. Equipo de purificación

Se instalan dos purificadoras centrífugas de MDF, como se indicó en el cuaderno 7. El coste de estas se estima que es **32000 €**. El coste de los equipos de manejo de lodos, derrames y trasiegos puede estimarse en **4000 €**.

### 2.5.6. Equipo auxiliar de casco

El coste de las bombas de servicios generales puede estimarse, conociendo el caudal de la bomba de sentinas,  $Q_{bs}$ , y el caudal de las bombas contra incendios,  $Q_{CI}$ , a través de la siguiente expresión:

$$P_{aux} = 6,01 \cdot (100 \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{Q_{bs}} + 160 \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{Q_{CI}} + 160 \cdot 25 \cdot \sqrt[3]{Q_{CI}} + 185 \cdot \sqrt[3]{Q_{bs}})$$

Entonces, el precio de estos equipos es **103600 €**.

El coste del separador de sentinas se estima en **15000 €**.

### 2.5.7. Equipo sanitario

El coste de los grupos hidróforos puede estimarse según el número de tripulantes con la expresión:

$$P_{\text{sanitario}} = 9,14 \cdot 110 \cdot \sqrt{N}$$

Con lo que el coste es de **6745 €**.

El coste de la planta de tratamiento de aguas residuales se estima en **16000 €**.

### 2.5.8. Varios

El coste de los ventiladores de la cámara de máquinas puede estimarse según el número de ventiladores (6) y el caudal de los mismos (54700 m<sup>3</sup>/h y 54000 m<sup>3</sup>/h), mediante la expresión siguiente:

$$P_{\text{ventiladores}} = 6,01 \cdot 1,25 \cdot N_{\text{ventiladores}} \cdot \sqrt{Q_{\text{ventiladores}}}$$

El precio de los ventiladores se estima en **10520 €**.

El costo de equipos de desmontaje en cámara de máquinas puede expresarse en la forma siguiente:

$$P_{\text{desmontaje}} = 6,01 \cdot 0,14 \cdot BHP$$

Por lo que su precio se estima en **13900 €**.

El coste de los equipos del taller de cámara de máquinas se estima en **12000 €**.

## **3. Astillero y seguros**

En este apartado se indica el presupuesto y las partidas y porcentajes a tener en cuenta debidos a la construcción del buque proyecto en un astillero español.

### **3.1. Presupuesto de la mano de obra**

El presupuesto de la mano de obra se dividirá en tres partidas distintas: el número de horas empleadas en el desarrollo de la ingeniería, en los trabajos de producción de acero y en los de armamento. El coste se ha calculado estimando el número de horas y multiplicándolas por un coste medio de la mano de obra de 35 €/h.

### **3.1.1. Mano de obra de la ingeniería**

Abarca la ingeniería básica (planos de clasificación) y la ingeniería de detalle (zonas de casco, máquinas, carga y cubierta, acomodación y electricidad), así como las horas dedicadas a coordinar y superar las interferencias entre los distintos sistemas y zonas del buque proyecto.

Se ha considerado que el astillero invertirá en la construcción del buque proyecto 200000 horas/hombre de ingeniería, por lo que el presupuesto estimado de esta mano de obra es de **7000000**.

### **3.1.2. Mano de obra del acero**

Contempla la elaboración y corte de planchas y perfiles, la fabricación de unidades abiertas, la formación y ensamblaje de bloques y la unión en grada de estos bloques entre sí formando la estructura del buque. Se ha considerado una productividad media de 20 h/t para los trabajos de este tipo en relación al peso de acero neto, que asciende a 1784,9 toneladas.

Con ello se tiene que las horas dedicadas son 35698 h, por lo que el coste de esta partida se estima en **1249430 €**.

### **3.1.3. Mano de obra del armamento**

Corresponde a la preparación de tuberías, fabricación y montaje de módulos, prearmamento (armamento anticipado en bloques), armamento a bordo e instalación y pruebas de todos los equipos del buque.

Se ha considerado una productividad media para los trabajos de este tipo en relación al peso de material paramétrico de 50 h/t. Con esto se tiene un total de horas que asciende a 89245 h y, por lo tanto, el coste serán **3123575 €**.

## **3.2. Costes indirectos del astillero**

Se citan a continuación los distintos costes varios del astillero que deben incluirse en el presupuesto de diseño y construcción de la unidad FLNG:

1. *Clasificación, reglamentos y certificados*. Incluye los costes de la Sociedad de clasificación, otras entidades reguladoras, inspecciones... Se estiman **200000 €**.

2. *Pruebas y garantías.* Incluye los costes de la puesta a flote del buque, trabajo de los prácticos y remolcadores, pruebas de mar del buque y pruebas de equipos, ensayos, supervisores, seguros y garantías. **50000 €.**
3. *Servicios auxiliares durante la construcción.* Incluye los costes de andamiajes, instalaciones provisionales de fuerza y alumbrado, limpieza y decapado... **400000 €.**
4. *Mano de obra de otros departamentos:* como el departamento de compras, financiero, administración, etc. **200000 €.**

Estos costes se han estimado en un 30 % más sobre el coste individual de cada partida, por lo que el presupuesto de los costes indirectos del astillero se estima en aproximadamente **1105000 €.**

### 3.3. Beneficio del astillero

Se ha considerado un beneficio para el astillero del 7% sobre el total del coste del buque proyecto.

### 3.4. Seguros

El seguro de construcción se puede estimar entre un 0,4 % y un 0,7 % del coste de construcción, excluyendo los costes de diseño, permisos y licencias. Se excluye el seguro de responsabilidad civil que es para todos los proyectos. Si fuese necesario uno en concreto, sería de unos 10000€.

También se dispondrá de un seguro de transporte de equipos u otros elementos de construcción de industria auxiliar para cubrir posibles pérdidas de beneficios por retardos en entrega que hagan incumplir hitos por parte del astillero.

Esto hace que al precio de construcción se le añada la siguiente partida de coste:

Elemento	Coste
Seguro de construcción (0,5 %)	108861 €
Seguro de responsabilidad civil	10000 €
Seguro de transporte equipos y consumos	7000 €

Tabla 1. Presupuesto de los seguros para la construcción de buque proyecto

## 4. Resumen del presupuesto

Se resumen a continuación en este apartado las distintas partidas del presupuesto estimado del buque proyecto, obteniéndose al final el coste total estimado.

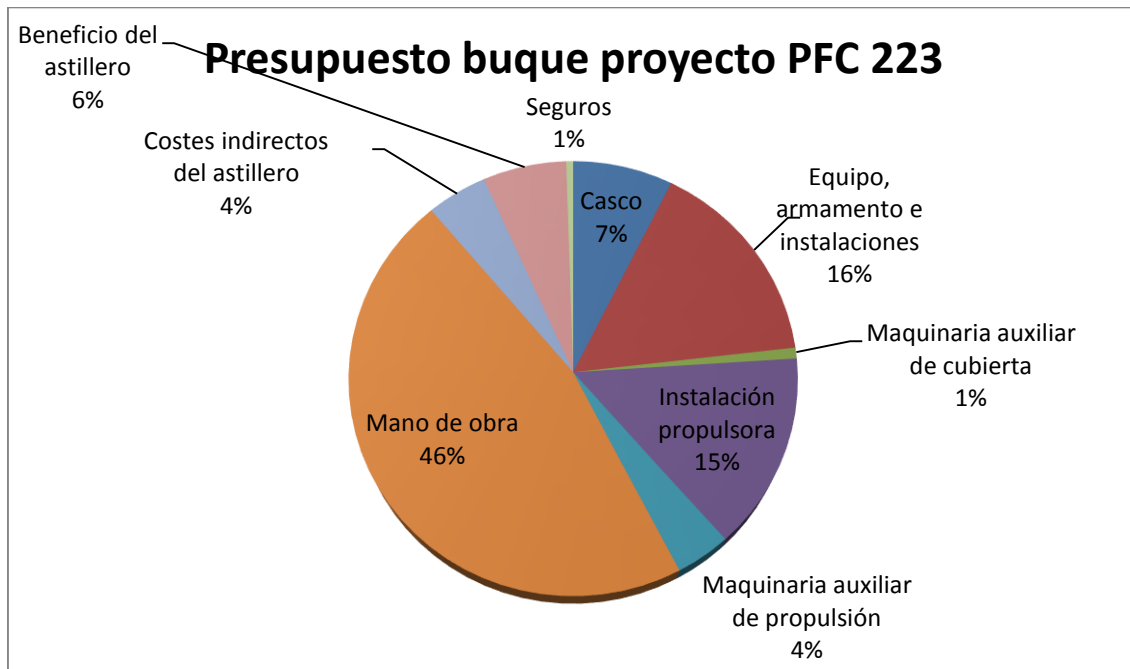


Figura 1. Resumen del presupuesto del buque proyecto

Por lo tanto el presupuesto total estimado del buque proyecto son, aproximadamente, **VEINTICUATRO MILLONES QUINIENTOS MIL EUROS**.



## **5. Bibliografía general.**

### **5.1. Bibliografía básica**

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [2] World steel prices[Web en línea]. <> <http://www.worldsteelprices.com/>
- [3] ABB Group. [Web en línea]. <> <http://www.abb.com/>
- [4] Wärtsilä. [Web en línea]. *Wärtsilä Propulsors*. <http://www.wartsila.com/>
- [5] Wärtsilä. [Web en línea]. *Engines & Generating sets*. <http://www.wartsila.com/>

### **5.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Maersk Helper. <> <http://www.flickr.com/>
- [2] Kongsberg Maritime. [Web en línea]. <> <http://www.km.kongsberg.com/>
- [3] Rolls-Royce. [Web en línea]. *Deck machinery for AHTS vessels*. <> [http://www.rolls-royce.com/marine/products/deck\\_machinery/dm\\_offshore/dm\\_ahts/](http://www.rolls-royce.com/marine/products/deck_machinery/dm_offshore/dm_ahts/)
- [4] Asturcom Compresores. [Web en línea]. <> <http://www.asturcom.com.ar/>
- [5] Azcue [Guía de producto]. *Bombas*.
- [4] Wärtsilä. [Web en línea]. *Engines & Generating sets*. <http://www.wartsila.com/>
- [2] ABB Group. [Web en línea]. <> <http://www.abb.com/>
- [3] Wärtsilä. [Web en línea]. *Wärtsilä Propulsors*. <http://www.wartsila.com/>
- [6] Sodeca. [Web en línea]. <> <http://www.sodeca.com/>

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 14**

**Comportamiento en aguas de la costa de Cantabria**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Definición y planteamiento del problema.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Caracterización del oleaje.....</b>	<b>6</b>
3.1. Descripción probabilista del estado de la mar .....	6
3.2. Estadística de ocurrencia de oleaje.....	9
<b>4. Operatividad del buque proyecto.....</b>	<b>12</b>
4.1. Obtención de los espectros de movimiento .....	15
4.1.1. Mar de proa, 0° .....	15
4.1.2. Mar de través, 90°.....	17
4.2. Criterios operativos .....	18
<b>5. C .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Bibliografía general .....</b>	<b>23</b>
6.1. Bibliografía básica.....	23
6.2. Bibliografía complementaria .....	23



## **Figuras**

Figura 1. AHTS Tor Viking II rompiendo una ola.....	6
Figura 2. Esquema de resolución lineal de un problema genérico del Comportamiento del Buque en la Mar.....	14

## **Tablas**

Tabla 1. Tabla $H_s$ , $T_p$ anual.....	10
Tabla 2. Régimen extremal escalar de oleaje para la boya de Bilbao-Vizcaya.....	11
Tabla 3. Criterios operativos más comunes.....	18

## **Gráficos**

Gráfico 1. Espectro de ola en operación.....	10
Gráfico 2. Espectro de ola para altura máxima significativa.....	12
Gráfico 3. RAO para el movimiento de surge.....	15
Gráfico 4. RAO para el movimiento de alzada.....	16
Gráfico 5. RAO para el movimiento de cabeceo.....	16
Gráfico 6. RAO para el movimiento de surge.....	17
Gráfico 7. RAO para el movimiento de alzada.....	17
Gráfico 8. RAO para el movimiento de cabeceo.....	18
Gráfico 9. MSI para mares de proa.....	20
Gráfico 10. MSI para mares de través.....	21

## **1. Introducción**

Las especificaciones del proyecto exigen la redacción de un cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd's Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

Por lo tanto, en este cuaderno se hará un estudio del comportamiento del buque en la mar fijándose en los valores de los datos históricos de las alturas de olas en el mar Cantábrico. Esta información se puede encontrar en la página web de puertos del Estado: [www.puertos.es](http://www.puertos.es).

El objetivo será la medida de la operatividad del buque proyecto en base al cumplimiento de unos criterios operacionales relacionados con el estudio de los movimientos y los esfuerzos producidos por las olas.

Se ha empleado el módulo Motions del programa Maxsurf para analizar el comportamiento del buque proyecto.

## **2. Definición y planteamiento del problema**

El Comportamiento del Buque en la Mar es una metodología que, como se ha dicho, tiene como objeto el estudio de los movimientos y de los esfuerzos producidos por las olas en los sistemas marinos (una plataforma, un portaaviones o un buque AHTS como es el caso). Sin embargo, el fin último del ingeniero no es el conocimiento de estos movimientos y esfuerzos en sí mismos, sino como un paso necesario para poder minimizarlos o para poder diseñar buques en los que no se sobrepasen unos criterios límites, preestablecidos, para estos esfuerzos y movimientos.

La teoría lineal clásica del Comportamiento del Buque en la Mar se basa en las siguientes hipótesis fundamentales:

1. El fluido se supone homogéneo, incompresible y sin viscosidad y el flujo irracional, derivando sus características, por lo tanto, de un potencial de velocidad.
2. Las olas tienen pequeñas amplitudes y, por consiguiente, los movimientos del buque son pequeños: éste oscila armónicamente con una frecuencia igual a la de encuentro con las olas.
3. Se supone una relación lineal adimensional entre la amplitud (pendiente) de las olas y las amplitudes de las elongaciones (rotaciones) de los distintos movimientos del buque.
4. El buque es un sólido rígido con costados verticales en la flotación.
5. Las formas del buque varían suavemente a lo largo de su eslora: se puede aplicar la teoría de rebanadas suponiendo, salvo en el caso de la largada, que las velocidades transversales del flujo sobre el casco del buque predominan sobre las longitudinales.
6. La velocidad del buque no es excesivamente elevada como para crear sustentación dinámica o generar trenes de olas que puedan alterar significativamente su superficie mojada o la forma de las olas incidentes.

Desde el punto de vista científico, el desarrollo del Comportamiento del Buque en la Mar se ha de basar en la resolución del problema considerando sus no linealidades con la ayuda de los métodos de cálculo. No obstante, desde un punto de vista práctico, la cuestión pendiente que requiere una solución más inmediata es la de establecer, asentar y justificar los criterios de operación de los buques cuando navegan en olas. Al fin y al cabo, el objetivo de calcular los movimientos de los buques no es otro que el de poderlos comparar con distintos criterios de operatividad para predecir la capacidad de estos buques para realizar las misiones que su armador les exige.

Por lo tanto, los buques se han de proyectar para que sean habitables y operativos y para que, en último caso, sobrevivan a los temporales con los menores daños posibles.

Las olas producen movimientos u oscilaciones al buque según sus seis grados de libertad. Estos movimientos causan aceleraciones que provocan malestar a las personas embarcadas y cargas dinámicas tanto sobre la estructura del buque como sobre los otros elementos del mismo: carga estibada, palos, equipos, etc.

Por otra parte, los movimientos relativos entre el buque y la superficie de la mar son causa de fenómenos episódicos a veces peligrosos: los machetazos en el fondo o en el abanico del buque, el embarque de agua en cubierta, la emersión de los propulsores, etc.

Además, tanto los movimientos absolutos como los relativos del buque son causa de una pérdida involuntaria o, más frecuentemente, de una reducción voluntaria de su velocidad.

De entre todas las consecuencias indeseables de los movimientos en olas de los barcos resultarán más críticas unas u otras dependiendo del tamaño del buque y de su tipo o misión. En el caso del buque proyecto, por ejemplo, debe tenerse en cuenta que las aceleraciones verticales son la causa principal del mareo a bordo, y deben cuidarse también los requisitos relativos al posicionamiento dinámico.

Por otro lado, se observa que la respuesta de los buques a las olas depende sobre todo de sus dimensiones principales y de la distribución de sus masas a bordo, variables difíciles de alterar una vez que se ha encajado un anteproyecto.

El comportamiento en la mar, además de al diseño afecta también a la operación del buque, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de la toma de decisiones, bien a largo plazo o bien a corto plazo.

Entonces, el planteamiento global del problema se puede resumir así:

1. Descripción probabilista del estado de la mar de la forma más compacta posible y adecuada para su posterior aplicación para la resolución del problema planteado. Así se definirá, en el dominio de la frecuencia, el espectro de energía de la mar que describirá las fuerzas excitadoras que las olas ejercerán sobre el buque proyecto.
2. Caracterización de las respuestas del buque proyecto. Al considerar la teoría lineal y mantener el principio de superposición, bastará con calcular las respuestas a una serie de excitaciones elementales: olas sinusoidales o impulsos unitarios.

A partir de estas respuestas se obtendrán, en el dominio de la frecuencia, las funciones de transferencia u otras funciones derivadas de éstas, llamadas Operadores de Amplitud de Respuesta (RAO), que se escribirán de la forma más adecuada para facilitar su combinación con los espectros de energía de la mar.

Obviamente estas funciones de transferencia sólo dependerán de las formas del buque proyecto y serán totalmente independientes del estado de la mar que se vaya a considerar.

3. Aplicando el espectro de energía de la mar a cada función de transferencia del buque proyecto, se obtendrá con bastante facilidad el espectro de respuesta, en el dominio de la frecuencia, correspondiente a esa mar y a esa respuesta.
4. El análisis de los espectros de respuesta y la combinación de los mismos, permitirá conocer los movimientos, velocidades y aceleraciones absolutas en cada punto del buque proyecto así como valores estadísticos prácticos. A partir de estos y una vez fijados una serie de criterios operacionales en relación a los mismos, se puede determinar si el buque proyecto podrá permanecer operativo si se encuentra en ese estado de la mar determinado.



*Figura 1. AHTS Tor Viking II rompiendo una ola*

### **3. Caracterización del oleaje**

#### **3.1. Descripción probabilista del estado de la mar**

La superficie de una mar moderada, descrita como su elevación respecto a un nivel medio de referencia, puede considerarse como un proceso aleatorio, dependiente del espacio y del tiempo, estacionario, homogéneo y ergódico siempre que se describa localmente y a corto plazo.

Si la superficie de la mar pudiera describirse mediante una función determinista del espacio y del tiempo, probablemente, el estudio del comportamiento de los artefactos en la mar se hubiese reducido a la resolución de una especie de problema de movimientos armónicos forzados y amortiguados. Debido a la dificultad de encontrar tal función hay que considerar la elevación del mar como un proceso aleatorio que depende del espacio y del tiempo.

La descripción de un proceso aleatorio es compleja, pero se hace más asequible si el proceso es estacionario, homogéneo y ergódico.

Si se limita el problema a describir la mar localmente y a corto plazo, se admite que el proceso aleatorio “elevación del oleaje” es homogéneo, estacionario, y ergódico. Es decir, se admite que, durante 4 horas y en un círculo de 60 millas de diámetro, las condiciones (sus valores estadísticos) de la mar permanecen constantes en espacio y tiempo.

Por tanto, la ergodicidad permite caracterizar la mar, siempre localmente y a corto plazo, mediante un solo registro del oleaje. A partir de ese registro se puede obtener la función de autocorrelación correspondiente  $R_{\zeta\zeta}(\tau, \vec{r})$  y, de ella, la función de densidad espectral  $\Phi_{\zeta\zeta}(\omega, \vec{k})$ , que es la transformada inversa de Fourier de dicha función de autocorrelación. Esta función de densidad espectral  $\Phi_{\zeta\zeta}(\omega, \vec{k})$  o simplemente espectro, indica el reparto de la densidad de energía de la mar para cada una de las distintas frecuencias y direcciones de sus componentes.

A partir de ese espectro también se puede calcular la densidad superficial de energía de la mar, es decir se puede cuantificar la severidad de un cierto estado de la mar.

$$E = \rho \cdot g \cdot \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{\zeta\zeta}(\omega, \vec{k}) \cdot d\vec{k} \cdot d\omega \quad (a)$$

Por otro lado, atendiendo al modelo de Longuet –Higgins podemos estudiar la superficie del mar, localmente y a corto plazo, como una variable aleatoria suma de “muchas” olas senoidales de desfase equiprobable.

Además se sabe que la densidad media de una ola senoidal a lo largo de un periodo es:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2$$

Siendo “a” la amplitud de la ola y “p” la densidad de masa del agua de mar.

Podemos escribir la densidad de energía total del mar como la suma de la energía de todas las olas regulares, sabiendo que la amplitud de cada ola será función de la frecuencia y número de onda, es decir:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \sum a_i^2(\omega, \vec{k})$$

Y si el número olas tiende a infinito la densidad total de energía vendrá dada por:

$$E = \rho \cdot g \cdot \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} a^2(\omega, \vec{k}) \cdot d\vec{k} \cdot d\omega \quad (b)$$

Ahora, identificando los segundos miembros de las expresiones (a) y (b) se puede llegar a una definición intuitiva de la función de densidad espectral.

$$\Phi_{\zeta\zeta}(\omega, \vec{k}) = \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot (\omega, \vec{k})$$

Así se comprende que se defina como la función de distribución de la densidad de energía del mar según sus diferentes frecuencias y números de onda o direcciones, ya que para ello basta con multiplicar por el factor “ $\rho g$ ”. De esto también se puede afirmar que la densidad de energía total del mar se obtendría sumando la de cada una de sus olas componentes considerando todas las frecuencias y direcciones. Es decir, el volumen encerrado por el espectro de elevaciones multiplicado por dicho factor “ $\rho g$ ”.

Si se tratase de proyectar un buque fijo de cierta envergadura y el plazo y el presupuesto lo permitiesen, se podría justificar la instalación de boyas en la zona prevista de operación para registrar las características de los distintos estados de la mar a la que va a estar expuesto el buque proyecto. Por ello, en la práctica se utiliza el espectro local de energía, que se obtiene a partir de una única boya que mide elevaciones en un único punto de la mar. Así el problema se simplifica al considerar el proceso como únicamente dependiente del tiempo, es decir, la función de densidad espectral sólo depende de la frecuencia. De esta manera se está considerando el mar como una superposición de olas de cresta larga, que se propagan en una única dirección.

Es evidente que esta simplificación, conlleva una pérdida de información que en muchos casos se soslaya haciendo uso de funciones empíricas de esparcimiento de oleaje, también llamadas funciones de direccionalidad, que se obtienen en base colocar en las boyas sensores que miden la dirección de propagación de las olas.

Resumiendo, la función de densidad espectral local queda definida como:

$$\Phi_{\zeta\zeta}(\omega, \vec{k}) = \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot (\omega)$$

Y la energía total del mar se puede obtener multiplicando el área bajo el espectro multiplicado por el factor “ $\rho g$ ”.

Como ya se ha dicho, si las condiciones lo permitiesen, para obtener el espectro de oleaje en la zona de operación habríamos de tomar un registro de alturas del oleaje en el punto en cuestión y calcular la transformada inversa de Fourier de dicho registro, para obtener la función de densidad espectral.

Las formas espectrales standard que se usan en la mayoría de los estudios de comportamiento en la mar son: el espectro de Pierson-Moskowitz y el de Jonswap para los mares de alcance limitado. Estas formas espectrales standard describen razonablemente bien diferentes estados de la mar en función de unos pocos parámetros.

El espectro de Pierson-Moskowitz es la forma espectral más extendida para describir oleajes de viento de cresta larga en mares abiertos de alcance ilimitado. Fue propuesta por la ITTC en 1981. Se formula como sigue:

$$\Phi(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \cdot \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right)$$

Siendo:

$$A = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \cdot \omega_{mod}^4$$

$$B = \frac{5}{4} \cdot \omega_{mod}^4$$

$H_s$  es la altura significativa del oleaje en metros y  $\omega_{mod}$  la frecuencia modal en rad/s. Siempre se ha de cumplir la siguiente relación:

$$H_s = 4 \cdot \sqrt{\int_0^{\infty} \Phi_{\zeta\zeta}(\omega) \cdot d\omega}$$

### 3.2. Estadística de ocurrencia de oleaje

Para hacer el cálculo de la operatividad del buque proyecto se necesita saber la probabilidad de ocurrencia de cada estado de la mar en el lugar de operación, es decir, la función de densidad de probabilidad conjunta de la altura significativa y el periodo de pico en el lugar de operación.

Los datos se han sacado de la información facilitada por Puertos del Estado, en concreto, se han cogido los valores de la boya de Vizcaya. En la tabla 1 se muestran los datos del oleaje (altura significativa,  $H_s$ , y periodo de pico  $T_p$ ) empleados para el cálculo del espectro de oleaje.



Tabla Periodo de Pico ( $T_p$ ) - Altura Significativa ( $H_s$ ) en %

$H_s$ (m)	$T_p$ (s)											Total
	$\leq 2.0$	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	$> 20.0$	
$\leq 0.5$	-	.151	.299	.283	.560	.216	.068	.023	.003	.003	-	1.607
1.0	-	.959	4.070	4.736	8.462	3.568	.821	.332	.042	.006	.003	22.999
1.5	-	.116	3.210	3.925	8.239	7.187	2.228	.467	.042	.032	.006	25.452
2.0	-	-	.808	2.811	3.964	6.079	2.846	.609	.084	.013	.006	17.219
2.5	-	-	.174	1.574	1.999	4.041	2.734	.860	.097	.013	.010	11.501
3.0	-	-	.016	.679	1.124	2.228	1.913	.837	.061	.026	.003	6.887
3.5	-	-	-	.309	.757	1.346	1.574	.753	.068	.029	.003	4.839
4.0	-	-	-	.106	.544	.782	1.117	.599	.084	.010	.003	3.246
4.5	-	-	-	.052	.309	.522	.741	.538	.064	.019	-	2.244
5.0	-	-	-	.003	.171	.390	.470	.393	.080	.006	-	1.513
$> 5.0$	-	-	-	.006	.145	.441	.721	.931	.209	.029	.010	2.492
Total	-	1.227	8.578	14.486	26.273	26.798	15.233	6.340	.834	.187	.045	100 %

Tabla 1. Tabla  $H_s$ ,  $T_p$  anual

Esta tabla muestra el grado de ocurrencia del oleaje en función de la altura significativa y el periodo de pico. Como se puede ver, la característica que más ocurre es para  $T_p = 10$  s y  $H_s = 1,0$  m.

Con estos datos se obtiene a través del módulo Motions del programa Maxsurf el espectro de Pierson-Moskowitz para la condición de operación.

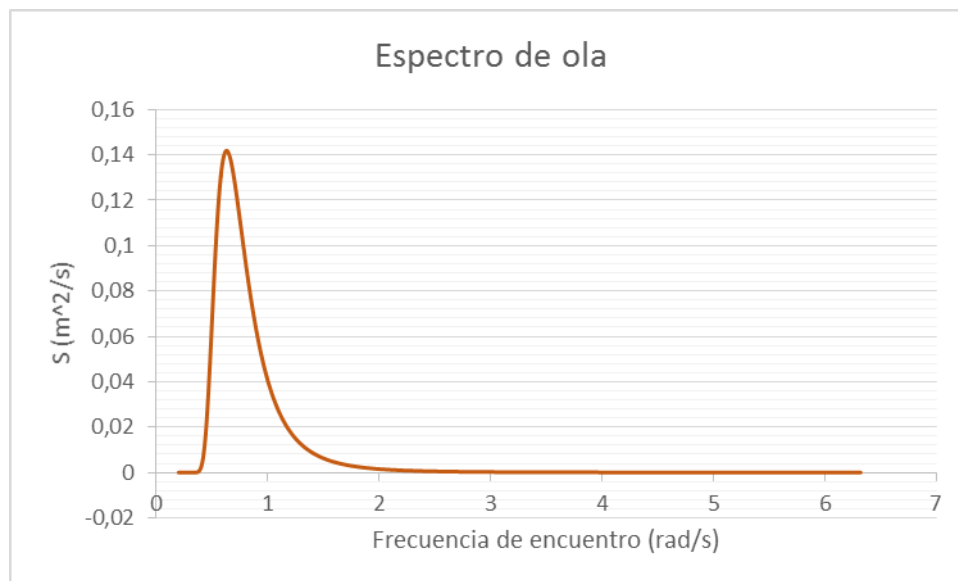


Gráfico 1. Espectro de ola en operación

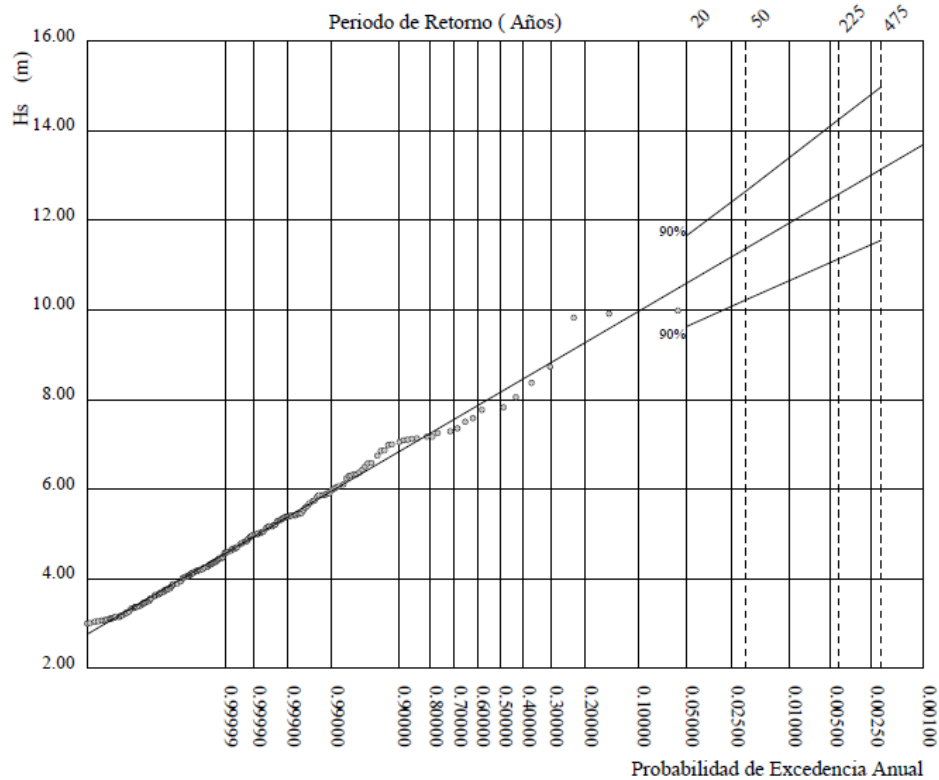
Los valores que se deben introducir en el programa son la altura significativa ( $H_s$ , 1 m), el periodo modal ( $T_p$ , 10 s) y el paso por cero ( $T_z$ , 7,112 s). Este último se calcula mediante la aproximación  $T_p = 1,4049 \cdot T_z$ .

En el caso del espectro para un periodo de retorno de 50 años, la altura de ola significativa es de 11,37 metros. En este caso, la relación entre la altura significativa y el periodo de pico es:

$$T_p = 8,02 \cdot H_s^{0,27}$$

Por lo tanto, el periodo de pico es 15,46 s.

LUGAR : Bilbao-Vizcaya  
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Dic. 2005  
 PROFUNDIDAD : 600.0



P. de Retorno ( Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	10.59	11.37	12.57	13.14
Banda Sup. 90% Hs	11.65	12.66	14.23	14.99
Valor Esperado de Tp (s)	15.20	15.50	15.92	16.12
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10

Tabla 2. Régimen extremal escalar de oleaje para la boya de Bilbao-Vizcaya

Si se emplea, al igual que antes el módulo Motions de Maxsurf para calcular el espectro de oleaje, se deberán introducir estos dos valores y el periodo de paso por cero. Para el cálculo del valor del paso por cero se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{T_z}{T_p} = 0,6673 + 0,05037 \cdot \gamma - 0,006230 \cdot \gamma^2 + 0,0003341 \cdot \gamma^3$$

Siendo  $\gamma = \exp\left(5,75 - 1,15 \cdot \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right)$  para  $3,6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5$ .

Por lo tanto,  $T_z = 11,34$  s y el espectro de olas para el periodo de retorno de 50 años es:

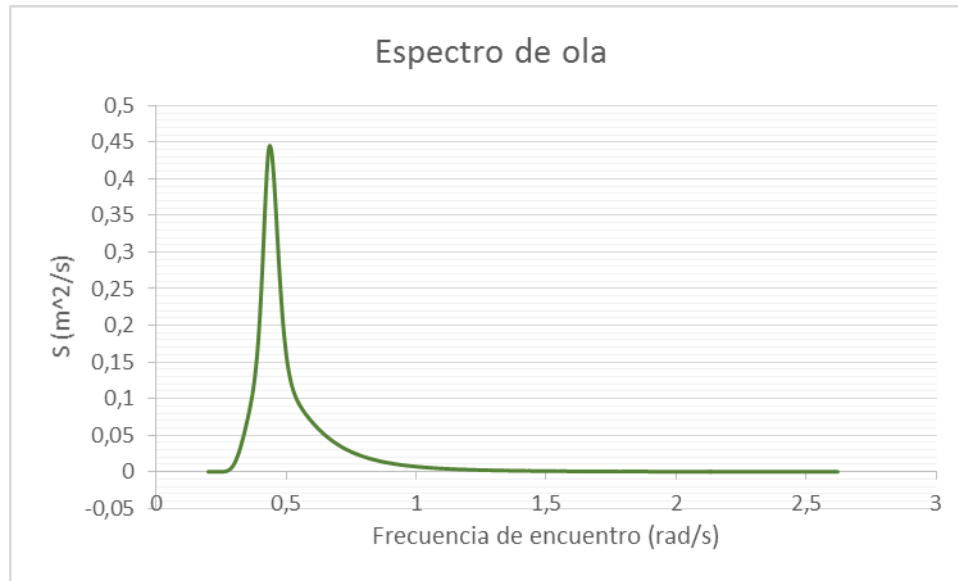


Gráfico 2. Espectro de ola para altura máxima significativa

Por otro lado, los máximos absolutos corresponden a los valores de  $H_{s_{abs}} = 20,52 \text{ m}$  y  $T_{p_{abs}} = 18,13 \text{ s}$ , obtenidos mediante la función de probabilidad de Rayleigh.

#### **4. Operatividad del buque proyecto**

Resulta evidente que la medida de la operatividad de un buque, desde el punto de vista de su comportamiento en la mar, puede ser extremadamente compleja por la cantidad de escenarios y equipos implicados. El conocimiento de los movimientos del buque cuando navega en un cierto estado de la mar permitirá conocer las velocidades, aceleraciones y esfuerzos a los que está sometido cada equipo instalado a bordo. Conociendo también los valores límite de estos movimientos, aceleraciones y esfuerzos, para los que cada uno de los equipos deja de funcionar, se estará en condiciones de evaluar la operatividad del buque, es decir, su disponibilidad para realizar unas u otras misiones en distintos estados de la mar.

Si se parte del hecho de que un buque realiza satisfactoriamente todas las tareas que necesita para cumplir su misión cuando el viento y la mar están en calma, es de esperar que según empeoren las condiciones ambientales, se vayan degradando las prestaciones de los equipos que han de funcionar a bordo. Cuando la mar sea suficientemente severa empezarán a fallar algunos equipos y llegará un momento en que la realización de las distintas tareas a bordo resulte primero demasiado dificultosa, luego peligrosa y, por fin, imposible.

La operatividad del buque con respecto a cada tarea puede entonces medirse como una razón porcentual que exprese la probabilidad de que esa tarea se pueda realizar, en los escenarios previstos de operación, con suficiente eficacia y seguridad.

Para evaluar con cierto rigor la operatividad del buque se requiere conocer su comportamiento en la mar, es decir, sus respuestas en cuanto a esfuerzos, movimientos y fenómenos asociados, para la mayor cantidad posible de combinaciones de velocidades del buque y rumbos relativos entre éste y el oleaje.

Lo habitual es obtener las funciones de transferencia o los RAOs (operadores de amplitud de respuesta), mediante la aplicación de algún programa de cálculo lineal de comportamiento del buque en la mar, que en el caso de este trabajo se hace mediante el módulo Motions del programa Maxsurf.

A partir de estos RAOs o de las funciones de transferencia, se pueden obtener las respuestas del buque para distintos estados de la mar ya que se trabaja haciendo uso de la teoría lineal del comportamiento del buque en la mar.

Para cada misión del buque se identifican todas y cada una de las tareas que se requieren para llevarla a cabo. Luego se listan los sistemas que deben funcionar para realizar cada tarea y, después, se han de relacionar todos los equipos que constituyen cada sistema. Posteriormente se especifican los criterios de funcionamiento de cada uno de los equipos que pueden ser de distinta naturaleza: algunos estarán limitados por balances excesivos, otros por demasiados embarques de agua, etc. Finalmente, comparando los movimientos y fenómenos derivados que se tendrían en cada uno de los locales donde están instalados cada uno de los equipos con los criterios operativos correspondientes, se podrá saber para cada situación concreta de navegación, qué equipos permanecen operativos y cuáles no.

No obstante, dado que un estudio tan detallado conllevaría un número de horas de estudio y cálculo por encima de lo que corresponde a un cuaderno de este proyecto académico, obtendrá en este apartado, para cada uno de los estados de la mar considerados, los espectros de movimiento (amplitudes, velocidades y aceleraciones) para los tres grados de libertad que se considerarán (arfada, balance y cabeceo) por su mayor influencia en las inclinaciones y aceleraciones verticales. Posteriormente se acoplarán para obtener los espectros de movimiento absoluto en cada punto del buque proyecto.

Como ya se ha dicho, el problema lineal de conocer los movimientos de un artefacto flotante se reduce al de obtener las respuestas de dicho artefacto cuando es excitado por un tren de olas regulares de cresta larga, de una frecuencia determinada, que incide sobre él con un rumbo relativo dado. Una vez resuelto esto, y siempre haciendo uso de la teoría lineal, el principio de superposición permite:

1. Descomponer cualquier estado de la mar u oleaje en suma de muchas olas regulares, cada una con su amplitud, frecuencia y dirección,

siguiendo el modelo de Longuet-Higgins. Esto se traduce en caracterizar el oleaje en el dominio de la frecuencia a través de los espectros de densidad de energía.

2. Calcular cada una de las respuestas del buque a cada una de las olas regulares que componen la mar irregular, que se traduce en obtener las funciones de transferencia o RAOs para cada grado de libertad a considerar.
3. Sumar adecuadamente, teniendo en cuenta los desfases correspondientes, las respuestas del buque a cada una de las olas regulares y obtener así la respuesta total a la mar irregular considerada. Esto se traduce en el cálculo de los espectros de movimiento absoluto del artefacto, componiendo el espectro del oleaje con las funciones de transferencia y acoplándolos teniendo en cuenta los desfases entre las respuestas y las olas incidentes

Este proceso queda muy bien explicado gráficamente en la figura 2, que es un esquema de resolución de los problemas de comportamiento de artefactos flotantes en la mar de acuerdo con la teoría lineal.

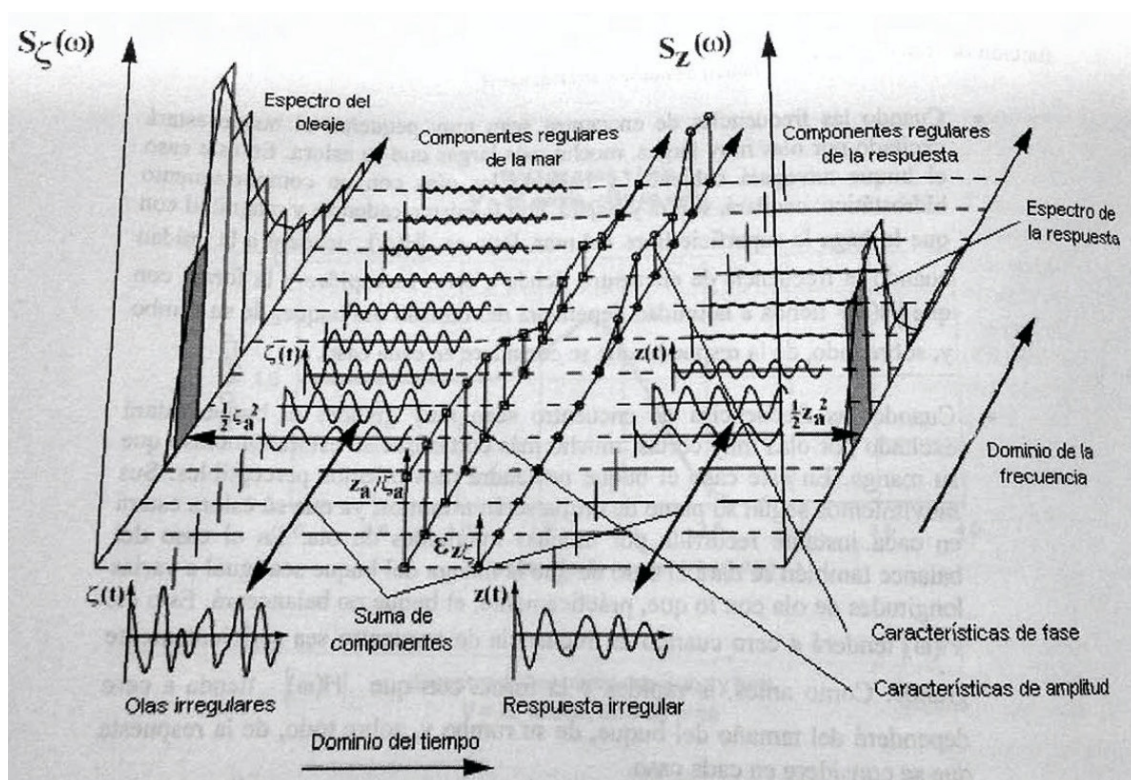


Figura 2. Esquema de resolución lineal de un problema genérico del Comportamiento del Buque en la Mar

#### 4.1. Obtención de los espectros de movimiento

El primer paso, correspondiente a la caracterización del oleaje irregular, ya se ha llevado a cabo. Ahora tenemos que obtener las funciones de transferencia para cada grado de libertad y rumbo del temporal incidente. En cuanto a los rumbos, se han considerado mares de proa y través.

Las funciones de transferencia se han calculado, como ya se ha dicho, haciendo uso de un programa de *seakeeping* integrado en el programa de arquitectura naval Maxsurf (Motions).

Es necesario mencionar que este programa, para el cálculo de dichas funciones de transferencia, utiliza un método de rebanadas. Esto intrínsecamente significa que el proceso de cálculo será más preciso con formas finas en las zonas de proa y popa.

En los siguientes secciones se muestran las RAO para la situación que más ocurre, es decir, para  $T_p = 10$  s y  $H_s = 1,0$  m.

##### 4.1.1. Mar de proa, $0^\circ$

RAO para el movimiento de estrepada (surge):

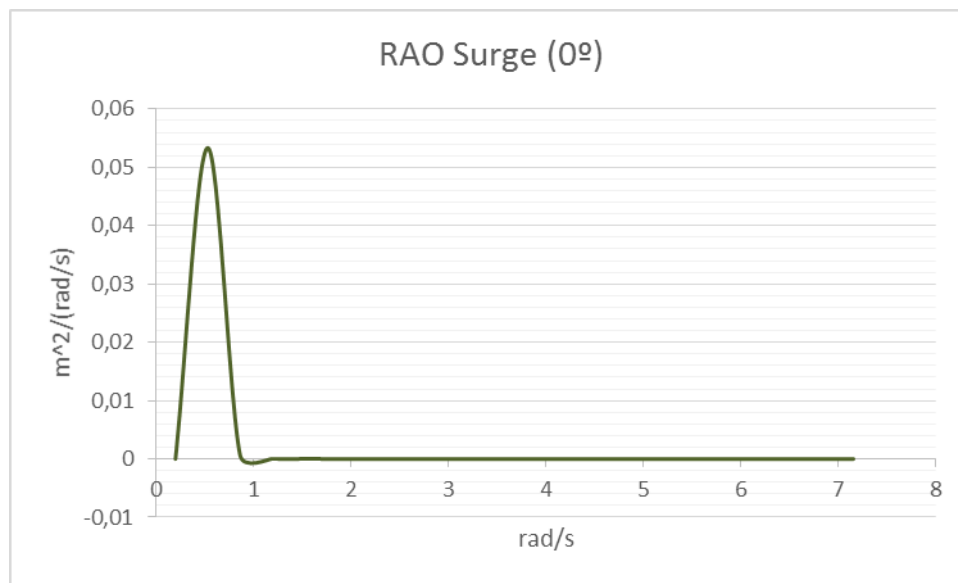


Gráfico 3. RAO para el movimiento de surge

RAO para el movimiento de alteada o arfada (heave):

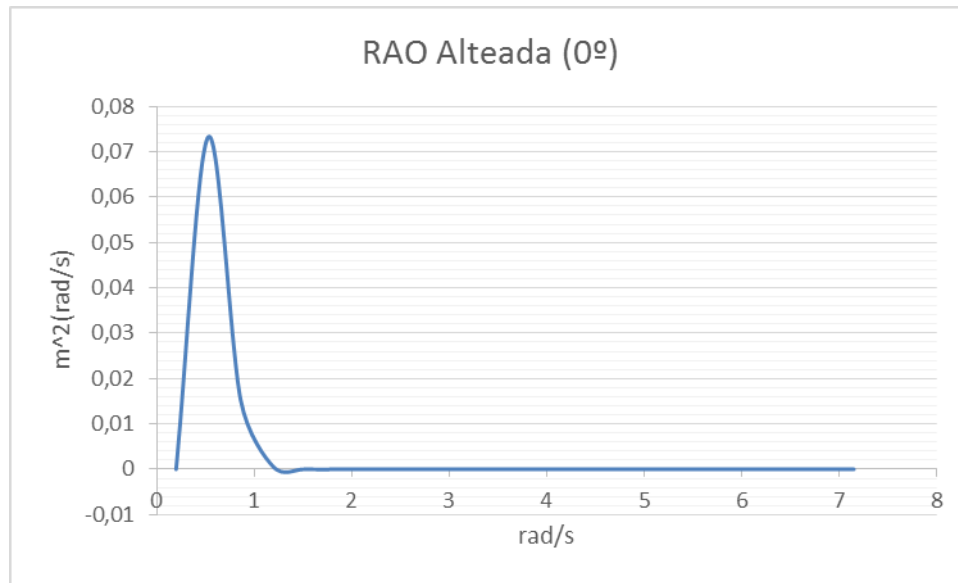


Gráfico 4. RAO para el movimiento de alteada

RAO para el movimiento de cabeceo (pitch):

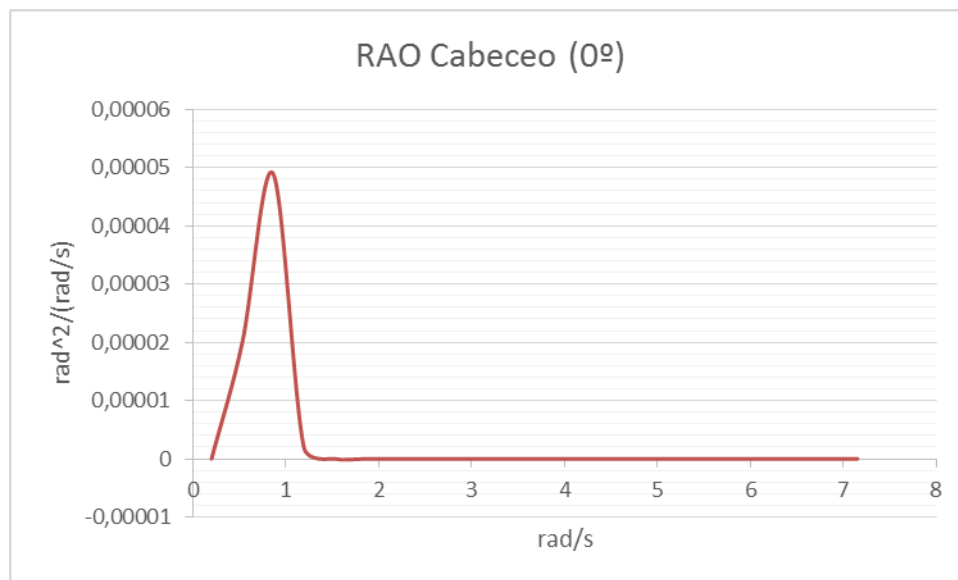


Gráfico 5. RAO para el movimiento de cabeceo

#### 4.1.2. Mar de través, 90°

RAO para el movimiento de estrepada (surge):

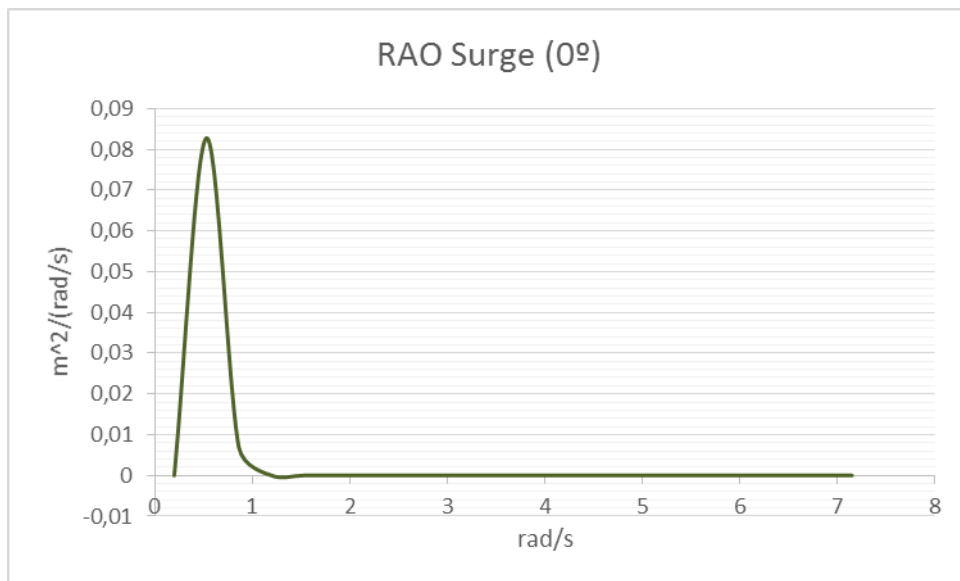


Gráfico 6. RAO para el movimiento de surge

RAO para el movimiento de alteada (heave):

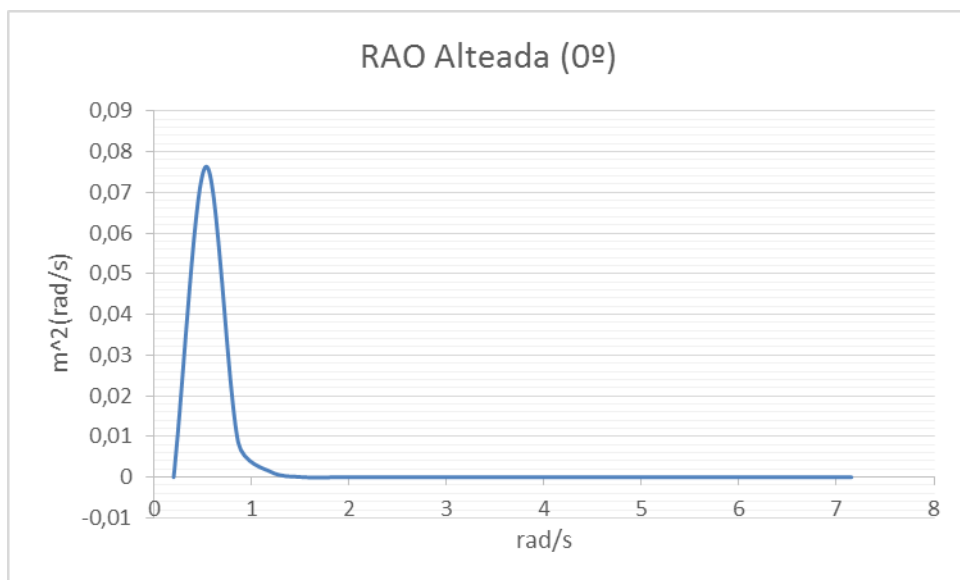


Gráfico 7. RAO para el movimiento de alteada



RAO para el movimiento de cabeceo (pitch):

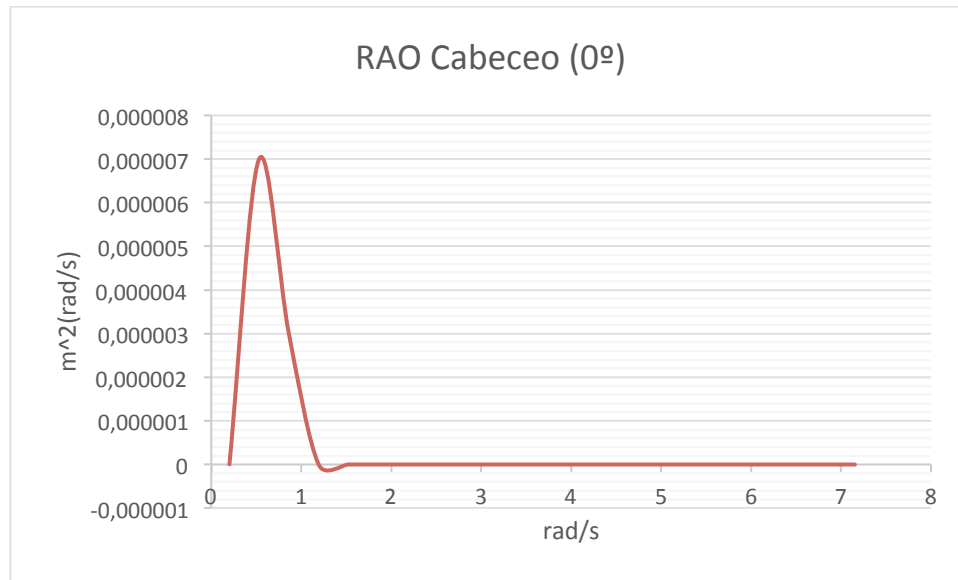


Gráfico 8. RAO para el movimiento de cabeceo

#### 4.2. Criterios operativos

Los criterios a establecer pueden depender del tipo de buque o de la misión que se esté realizando. Se ha de tener en cuenta también que los criterios de diseño y los operativos pueden ser diferentes. Como es habitual en estos casos, predominarán los más restrictivos.

En la referencia [2] se indican los valores de los criterios operativos de aplicación más común entre las Armadas occidentales.

CRITERIO	MAGNITUD	POSICIÓN
Ángulo de balance (personas)	4,0° rms	centro de gravedad
Ángulo de cabeceo (personas)	1,5° rms	centro de gravedad
Aceleración vertical (personas)	2,0 m/s <sup>2</sup>	Puente de gobierno
Aceleración horizontal (personas)	1,0 m/s <sup>2</sup>	Puente de gobierno
Incidencia del mareo (MSI)	20 % en 4 horas	Buques de guerra: O'Hanlon
Incidencia del mareo (MSI)	10 % en 2 horas	Buques de pasaje ISO 2631 (1997)
Interrupción de una tarea (MII)	Una cada 10 minutos	Buques de pasaje
Frecuencia de slamming	20 por hora	Pie de la cuaderna de trazado 17
Frecuencia de embarque de agua en cubierta	30 por hora	Final de la roda
Frecuencia de emersión de las hélices	90 por hora	30 % del radio bajo de la punta de la pala

Tabla 3. Criterios operativos más comunes

Un buque oceánico navega normalmente en olas que le inducen movimientos y los esfuerzos estructurales correspondientes. Supuesto un sólido rígido, el buque oscilará a lo largo y alrededor de cada uno de los tres ejes ortogonales de referencia habituales.

La naturaleza y magnitud de estos movimientos y de las velocidades y aceleraciones correspondientes dependen de:

- Las características principales del buque: dimensiones, geometría, masas e inercias.
- La operación del buque: velocidad y rumbo relativo a las olas.
- El estado de la mar: alturas de las olas, rumbos y frecuencias predominantes

Los movimientos producidos en el buque para cualquier combinación de las variables arriba indicadas ocasionan una serie de consecuencias indeseables a bordo: aumento de la resistencia al avance, degradación de la propulsión, embarque de agua en cubierta, emersión de los propulsores, pantocazos de fondo, otras cargas dinámicas locales y globales sobre la estructura del buque, etc.

Los efectos de las olas en las personas son de distinta naturaleza y evolucionan con la mar: en mares moderados se pierde primero la comodidad a bordo, luego se degrada la operatividad de las personas y del buque y, por fin, en estados de la mar muy severos, se ve comprometida también la seguridad de las personas e incluso del buque.

El mareo suele explicarse como una limitación del sistema que procesa las distintas informaciones que recibe el ser humano y surge cuando las sensaciones recibidas por sus órganos de posición y equilibrio, principalmente aceleraciones, entran en conflicto entre sí, con el entorno espacial que se percibe, y/o con lo que cada cual espera que ocurra en base a su experiencia previa.

Los experimentos de 1974 de O'Hanlon y McCauley constituyen la base de uno de los estudios más clásicos de la incidencia del mareo a bordo. A partir de los resultados de estos estudios se definió el índice de incidencia del mareo MSI (Motion Sickness Incidence) como porcentaje de las personas que vomitan dentro de las dos primeras horas de exposición a un movimiento vertical. La expresión analítica del mencionado índice es la siguiente:

$$MSI = 100 \cdot \left[ 0,50 + \operatorname{erf} \left\{ \frac{\log_{10} \left[ \frac{\ddot{s}}{g} \right] - \mu_{MSI}}{0,40} \right\} \right]$$

$$\mu_{MSI} = -0,819 + 2,32 \cdot [\log_{10}(\omega)]^2$$

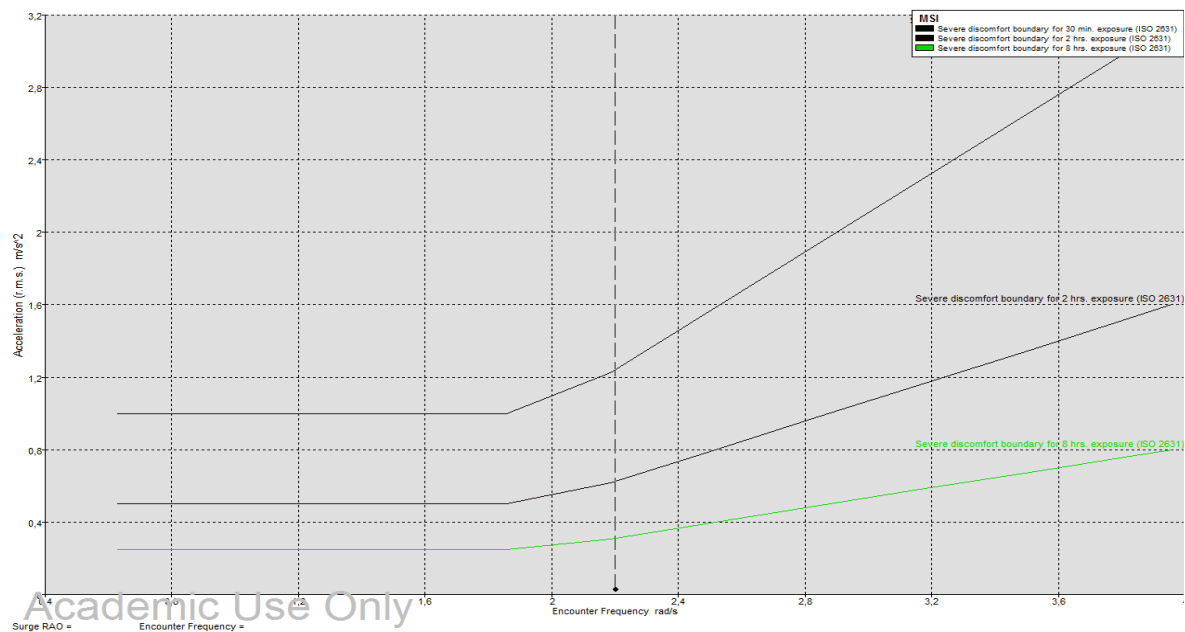
- $\text{erf}(x)$ : función error.
- $\ddot{s}$ : aceleración vertical promediada en medio ciclo de la senoide ( $\text{m/s}^2$ ).
- $\omega$ : frecuencia de la oscilación ( $\text{rad/s}$ ).

Para aplicar esta formulación a buques se ha de tener en cuenta que normalmente las oscilaciones de estos no serán armónicas: las aceleraciones se producirán dentro de una cierta gama de frecuencias que se han de describir mediante el espectro de aceleración vertical correspondiente al punto del buque que se estudie en cada caso.

Del análisis del espectro en frecuencias de la aceleración vertical del punto de interés se pueden obtener las magnitudes necesarias para calcular el valor MSI.

La norma ISO 2631 (1997), que coincide prácticamente con la inglesa BS 6841 (1987), trata las reacciones de las personas sometidas a vibraciones, dentro de las cuales la zona de las bajas frecuencias se da, casi exclusivamente, a bordo de los buques.

Mediante el módulo Motions del programa Maxsurf se han obtenido las siguientes gráficas para los mares de proa y de través de los índices MSI en el buque proyecto.



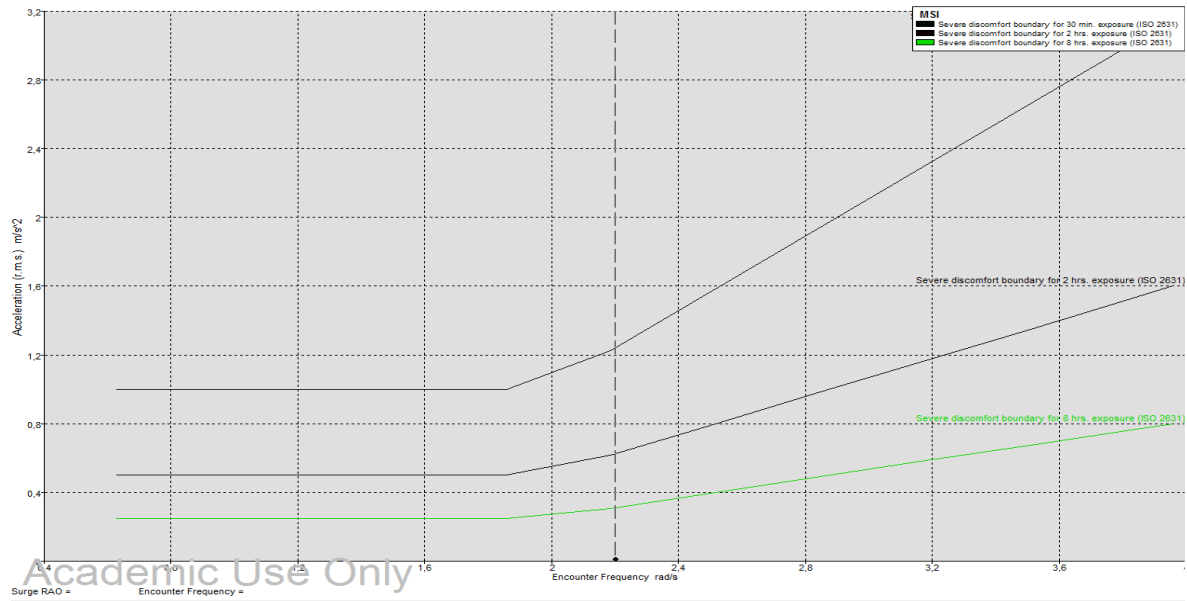


Gráfico 10. MSI para mares de través

## **5. Conclusiones**

La principal conclusión que se puede obtener es que el buque proyecto, al tener una manga muy ancha, la relación eslora/manga será por ello baja. El barco va a ser muy estable pero se van a inducir unos movimientos a las personas en el interior muy bruscos.

El capitán de un buque puede paliar la incidencia del mareo a bordo reduciendo tanto la magnitud como la probabilidad de ocurrencia de las oscilaciones del buque mediante los cambios adecuados de la velocidad y/o del rumbo relativo de su nave con respecto a las olas. También es evidente que la misión del buque o su plan de viaje pueden limitar mucho la capacidad de actuación del capitán en este sentido, a no ser que las condiciones a bordo llegasen a ser extremadamente desfavorables. Si se pretende reducir el mareo a bordo, se debe tener en cuenta que, en condiciones normales, el cabeceo, la alzada y el balance son los movimientos del buque que más influyen en el bienestar a bordo. Las aceleraciones inducidas por estos movimientos, principalmente las lineales, son la primera causa del mareo. El efecto sobre el mareo de estas aceleraciones no depende sólo de la amplitud, sino también de su frecuencia de oscilación. Además, resulta evidente que el tiempo durante el cual las personas están expuestas a estas aceleraciones también juega un papel importante en la aparición del mareo.

Se debe señalar que las personas que se supone que irán a bordo del buque proyecto estarán acostumbradas a viajar en barco, por lo que su respuesta frente a los movimientos del buque en la mar será más favorable que si fueran pasajeros no habituados a desplazarse en este medio. Esto se debe a que las personas no son igualmente sensibles a todas las frecuencias que aparecen en el espectro de aceleraciones verticales.



## **6. Bibliografía general**

### **6.1. Bibliografía básica**

- [1] José M<sup>a</sup> González Álvarez-Campana. *Comportamiento del buque en la mar. Fundamentos*. ETSIN.
- [2] José M<sup>a</sup> González Álvarez-Campana. *Comportamiento del buque en la mar. Aplicación*. ETSIN.
- [3] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.
- [4] Puertos del Estado. [Web en línea]. Oceanografía y meteorología. <>  
<http://www.puertos.es>.

### **6.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Tor Viking II. <> <http://www.offshoreenergytoday.com/>
- [2] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.

**Proyecto número 223**

**BUQUE DE APOYO A PLATAFORMAS MAR DEL  
NORTE 4500 TPM**



**CUADERNO 15**

**Memoria final**



**ETSIN**

**José Larrañeta García**

*Tutor: José María Riola Rodríguez*

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Características principales del buque proyecto .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Análisis de los cuadernos .....</b>	<b>5</b>
3.1. Cuaderno 1. Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina.....	5
3.2. Cuaderno 2. Dimensionamiento .....	5
3.3. Cuaderno 3. Formas .....	6
3.4. Cuaderno 4. Disposición General.....	6
3.5. Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval.....	6
3.6. Cuaderno 6. Cálculo de potencia y proyecto de propulsores .....	7
3.7. Cuaderno 7. Planta propulsora y cámara de máquinas.....	8
3.8. Cuaderno 8. Equipos y servicios .....	10
3.9. Cuaderno 9. Planta eléctrica.....	11
3.10. Cuaderno 10. Resistencia estructural .....	12
3.11. Cuaderno 11. Pesos y centro de gravedad del buque en rosca .....	12
3.12. Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal .....	13
3.13. Cuaderno 13. Presupuesto .....	14
3.14. Cuaderno 14. Comportamiento en aguas de la Costa de Cantabria .....	14
<b>4. Tiempo estimado de elaboración del proyecto.....</b>	<b>16</b>
<b>5. Plegado de planos.....</b>	<b>16</b>
<b>6. Bibliografía general .....</b>	<b>17</b>
6.1. Bibliografía básica.....	17
6.2. Bibliografía complementaria .....	17



## **Figuras**

Figura 1. Artic Modular Towing Supply Vessel, proyecto de Damen Shipyards .....	9
Figura 2. Proyecto de Rolls-Royce de propulsión con gas.....	10
Figura 3. Red de rescate forzada (Dacon Scoop) .....	11
Figura 4. Plegado de diversos tamaños de papel hasta A4 .....	16

## **Tablas**

Tabla 1. Características principales del buque proyecto .....	4
Tabla 2. Tabla de francobordos .....	7
Tabla 3. Cuadro resumen del régimen d utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto.....	12
Tabla 4. Tiempo de elaboración del proyecto .....	16

## **1. Introducción**

En este cuaderno se hace una exposición del grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto y esbozo de las modificaciones, en su caso, que hubieran sido necesarias en los cuadernos afectados si se hubiera podido realizar otro ciclo de la espiral de diseño del buque.

Basándose en la premisa de que este proyecto fin de carrera es una consecución de resultados obtenidos al hacer el diseño del buque a nivel de anteproyecto, entonces todos los cuadernos podrían someterse a los cambios que el armador requiriese. Por ello, aunque se haya presentado el buque proyecto detallando la totalidad de equipos y sistemas y la disposición general, si se continuase con el desarrollo del diseño de este buque podría haber modificaciones en algunas de sus características.

El título de este proyecto es *“Buque de apoyo a plataformas Mar del Norte 4500TPM”* y la descripción del mismo es la siguiente:

**-REGLAMENTOS Y SOC. CLAS.:** Lloyd’s Register, SOLAS, MARPOL.

**-ESLORA MÁXIMA:** 85m.

**-PESO MUERTO:** 4500 TPM.

**-VELOCIDAD:** 17 nudos al 90% MCR.

**-SISTEMAS DE PROPULSIÓN:** Diesel-eléctrica. Posicionamiento dinámico nivel 2.

**-REQUISITOS ADICIONALES:** Acomodación de 45 personas. Cuaderno de comportamiento en aguas de la costa de Cantabria.

## 2. Características principales del buque proyecto

Este Proyecto de Fin de Carrera ha tenido como objetivo el diseño de un buque, a nivel de ante proyecto, cuya misión es dar apoyo a plataformas oceánicas. De entre todos los buques de apoyo existentes actualmente y que fueron explicados en el cuaderno 1, *Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina*, el buque proyecto se ha planteado como un AHTS (Anchor Handling Tug Supply), capaz de hacer tareas de manejo de anclas, remolque, transporte de suministros y acomodación de personal. En su diseño se ha tenido muy en cuenta el cuidado del medioambiente durante la explotación del buque, ya que cumple con la totalidad de las medidas de protección medio ambientales previstas por la legislación internacional y que entrarán en vigor los próximos años.

Las características principales del buque proyecto se resumen en la siguiente tabla:

<b>Eslora máxima</b>	85,00 metros
<b>Eslora entre perpendiculares</b>	81,46 metros
<b>Manga de trazado</b>	21,70 metros
<b>Puntal a cubierta principal (1ª Cubierta)</b>	9,40 metros
<b>Calado de diseño</b>	7,70 metros
<b>Peso muerto</b>	4500 TPM
<b>Arqueo bruto, GT</b>	5945
<b>Arqueo neto, NT</b>	2403,7
<b>Capacidad tanques de carga</b>	2378 m <sup>3</sup>
<b>Capacidad de combustible</b>	1352 m <sup>3</sup>
<b>Capacidad de agua dulce</b>	611 m <sup>3</sup>
<b>Capacidad de agua de lastre</b>	1677 m <sup>3</sup>
<b>Acomodación</b>	45 personas
<b>Propulsión</b>	Diesel-eléctrica
<b>Velocidad de servicio</b>	17 nudos
<b>Grupos generadores principales</b>	4 x Wärtsilä Genset 9L34DF, 4050 kW
<b>Propulsores principales</b>	2 propulsores Azipod CO1400, 4500 kW
<b>Hélices de maniobra</b>	2 propulsores transversales en proa Wärtsilä CT/FT200M, 1262 kW
<b>Grúas de carga</b>	3 grúas electro-hidráulicas y 2 grúas puente
<b>Clasificación</b>	LRS, 100 <sup>a</sup> 1, Offshore Supply Ship/AHTS, DP (AA)

Tabla 1. Características principales del buque proyecto

Sobre la notación de clase aplicable al buque proyecto se debe indicar que, en general, los buques que cumplan con los requerimientos indicados en Lloyd's Register, Part 4, Ch.1, se clasificarán como 100A1. En la tabla 4.1.1 de Lloyd's Register, Part 4, Ch. 4, se indica que la notación *Offshore Supply Ship* se asignará a los buques que están diseñados para operar en servicio sin restricciones en todo el mundo.

### **3. Análisis de los cuadernos**

En este apartado, se van a explicar uno a uno las conclusiones obtenidas en cada cuaderno, en función a los errores cometidos. Se expondrán las correcciones y mejoras que se podrían hacer en el caso de poder realizarse una vuelta más de la espiral de proyecto.

#### **3.1. Cuaderno 1. Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina**

En el primer cuaderno se realiza un memoria explicativa que tiene como finalidad hacer una presentación del buque a diseñar y exponer la filosofía del proyecto.

En cuanto a los problemas principales y las soluciones adoptadas para solventarlos, ya se dijo que los cálculos hechos a lo largo de todo el proyecto no siempre tendrían solución única. Se ha tratado de hacer un diseño acorde con los buques reales de apoyo a plataformas existentes actualmente, de forma que el buque proyecto sea eficiente, viable y acorde con los requisitos de la Sociedad de Clasificación y de la normativa vigente.

#### **3.2. Cuaderno 2. Dimensionamiento**

El objetivo de este cuaderno era determinar las dimensiones principales del buque proyecto y sus coeficientes de forma, además de hacer una estimación de pesos y de potencia instalada. Todos los cálculos realizados en este punto del proyecto fueron estimaciones hechas a partir de buques ya existentes o de fórmulas preestablecidas obtenidas de la bibliografía indicada. Por lo tanto, en una segunda vuelta de la espiral de diseño, una vez concluido el anteproyecto del buque, se podría tratar de hacer un dimensionamiento orientado a mejorar los valores ya fijados.

Sería conveniente distinguir entre calado de proyecto (para el que se condiciona la velocidad del buque), calado de escantillonado (para el que se condiciona la estructura del buque), calado de máxima carga (aquel al cual el buque va a la máxima carga) y calado de francobordo (al cual se garantiza la estabilidad del buque y el escantillonado). Además, una vez hechas las formas y analizada más exhaustivamente la resistencia al avance del buque proyecto, se podría distinguir entre la velocidad en pruebas o velocidad de servicio. Se ha considerado en los cálculos hechos como velocidad de diseño la velocidad exigida en las especificaciones, 17 nudos.

### **3.3. Cuaderno 3. Formas**

El aspecto que más destaca en las formas del buque proyecto obtenidas es que éste no posee bulbo de proa. Una revisión de este cuaderno se podría orientar a analizar la instalación o no de este elemento de cara mejorar las características hidrodinámicas del buque.

Se trató de obtener unas formas llenas en la cuaderna maestra para aumentar la capacidad de carga, pero caracterizadas por tener una proa muy fina, una popa con poco volumen y un cuerpo cilíndrico mínimo y lo más lleno posible (coeficiente de la maestra muy cercano a la unidad), lo que equilibra bastante ambos factores. También se tuvo presente tener un perfil de popa con cuadernas en U y un perfil de proa con cuadernas en V.

Se podría también realizar un alisado de las formas en el canal de ensayos, optimizando las formas en popa y proa para permitir un mejor flujo a los propulsores y aumentar la capacidad de tiro a punto fijo con la misma potencia instalada.

### **3.4. Cuaderno 4. Disposición General**

La disposición general planteada podría variarse si los requisitos del armador o del astillero constructor así lo requiriesen. Los astilleros suelen subcontratar la construcción de los espacios de habitación a empresas de construcción de módulos de habitación naval, por lo que, como se ha dicho, la disposición indicada podría sufrir cambios en fases posteriores del proyecto.

Al ser un requisito de las especificaciones del proyecto disponer de una acomodación para 45 personas, se ha tratado de dibujar un plano de disposición general lo más detallado posible.

Para mejorar la distribución de pesos y los resultados de las situaciones de carga, se debería analizar la disposición de tanques y proporcionar al armador o al astillero constructor varias opciones, con el objetivo de elegir la más conveniente económica y operativamente.

### **3.5. Cuaderno 5. Cálculos de Arquitectura Naval**

Ya se indicó en este cuaderno que en las gráficas de las hidrostáticas, a calados muy pequeños los datos serán inverosímiles, circunstancia obvia pues el buque no está preparado para trabajar en dichas situaciones. Es interesante introducir dichos datos para no romper la continuidad de las curvas y darse cuenta de que todos los parámetros que tienen que ver con el volumen desplazado por el casco, son nulas cuando el calado es

nulo. De la misma forma, se observará que las curvas tienen comportamientos extraños para valores altos de calado cercanos a la cubierta principal, como era de esperar.

Se ha empleado el programa de arquitectura naval Maxsurf, en el cual se introdujeron las formas obtenidas en el cuaderno 3. La definición de la situación de los tanques se hizo en este cuaderno, pero este paso no se llevó a cabo hasta disponer de los cálculos de los diversos tanques requeridos por los equipos de la cámara de máquinas. Tanto la disposición general del buque proyecto como la disposición de tanques han sido diseñados teniendo en cuenta los requisitos exigidos en otros cuadernos del proyecto, especialmente la disposición y requisitos de la cámara de máquinas, propulsores principales y estructura del buque proyecto.

Adicionalmente, convendría estudiar la incidencia económica que tiene el arqueo en la operación del buque proyecto.

En este cuaderno se obtuvo la tabla de francobordos con los siguientes resultados:

Francobordos (mm)	
Verano	1472,1
Tropical	1311,7
Invierno	1632,5
Atlántico Norte	1682,5
Agua dulce	1329,5

*Tabla 2. Tabla de francobordos*

También se obtuvo el arqueo bruto (GT, 5945) y el arqueo neto (NT, 2403,7), fundamentales para clasificar el buque en el mercado y para saber las cuotas a pagar por estancia en puerto.

### 3.6. Cuaderno 6. Cálculo de potencia y proyecto de propulsores

Para el diseño de propulsores se ha empleado el método por series sistemáticas, como es habitual en las primeras etapas del proyecto.

Las hélices obtenidas han resultado ser satisfactorias en el sentido de que se ha conseguido el empuje requerido para alcanzar la velocidad de servicio estando los grupos generadores al 90% de su potencia nominal, lo cual era un requisito de la especificación inicial. Además, se asegura que se dispone de una relación de áreas suficiente para que no se produzca cavitación.

En este punto del proyecto se hizo una de las elecciones de más repercusión en el diseño final del buque y fue la de instalar propulsores tipo POD. Éstos presentan las siguientes ventajas:

- Aconsejable cuando propulsión y necesidades de fuerza o habilitación son parejas.
- Se prescinde de línea de ejes.
- Normalmente hélices de palas fijas acopladas a un motor eléctrico de corriente alterna síncrono, de inducción de imanes permanentes con convertidores de frecuencia para variación velocidad.

Las alternativas principales, debido al requisito de las especificaciones de tener instalado un sistema de propulsión diesel-eléctrica, eran propulsores azimutales con tobera, para mejorar el rendimiento cuando se está remolcando o hélices directamente acopladas mediante un eje a un motor eléctrico. La elección final, como ya se ha dicho, fue la de instalar sendos propulsores Azipod CO1400 en popa, principalmente por el requerimiento de las especificaciones del buque de tener una velocidad relativamente alta para este tipo de barcos, 17 nudos.

Se podría estudiar en etapas posteriores la instalación de hélices de palas orientables. Las hélices de palas orientables tienen un rendimiento ligeramente inferior a las de palas fijas por tener un núcleo más grande y, además, al ser el sistema de propulsión diesel-eléctrico, las revoluciones de los motores pueden regularse fácilmente con convertidores de frecuencia.

### **3.7. Cuaderno 7. Planta propulsora y cámara de máquinas**

La cámara de máquinas se sitúa a proa, como es normal en este tipo de buques. Se instalan cuatro grupos electrógenos Wärtsilä Genset 9L34DF con una potencia nominal en el motor de 4050 kW cada uno. Cada grupo tiene un peso de 84 toneladas y un rendimiento del generador acoplado del 96 %, con lo que la potencia de este es 3890kW.

En este cuaderno se indica que el combustible elegido es Marine Diesel Fuel (MDF) tipo ISO-F-DMB (Marine Diesel Oil) para la navegación normal y Gas Natural almacenado como CNG para las operaciones de puerto o similares.

Esta elección podría someterse a un estudio posterior en el futuro y, según los requisitos del armador, podría sustituirse ese combustible por otro de los especificados en la Guía de Producto incluida en el Anexo IV del cuaderno 7.

En el caso de que la normativa cambie, o se haga más exigente en los próximos años, en cuanto al contenido de azufre de los combustibles en los barcos, se podría considerar para el futuro la posibilidad de instalar tanques de almacén de gas como en el proyecto de buque Arctic Modular Towing Supply Vessel (AMTSV) de la imagen, de Damen Shipyards.

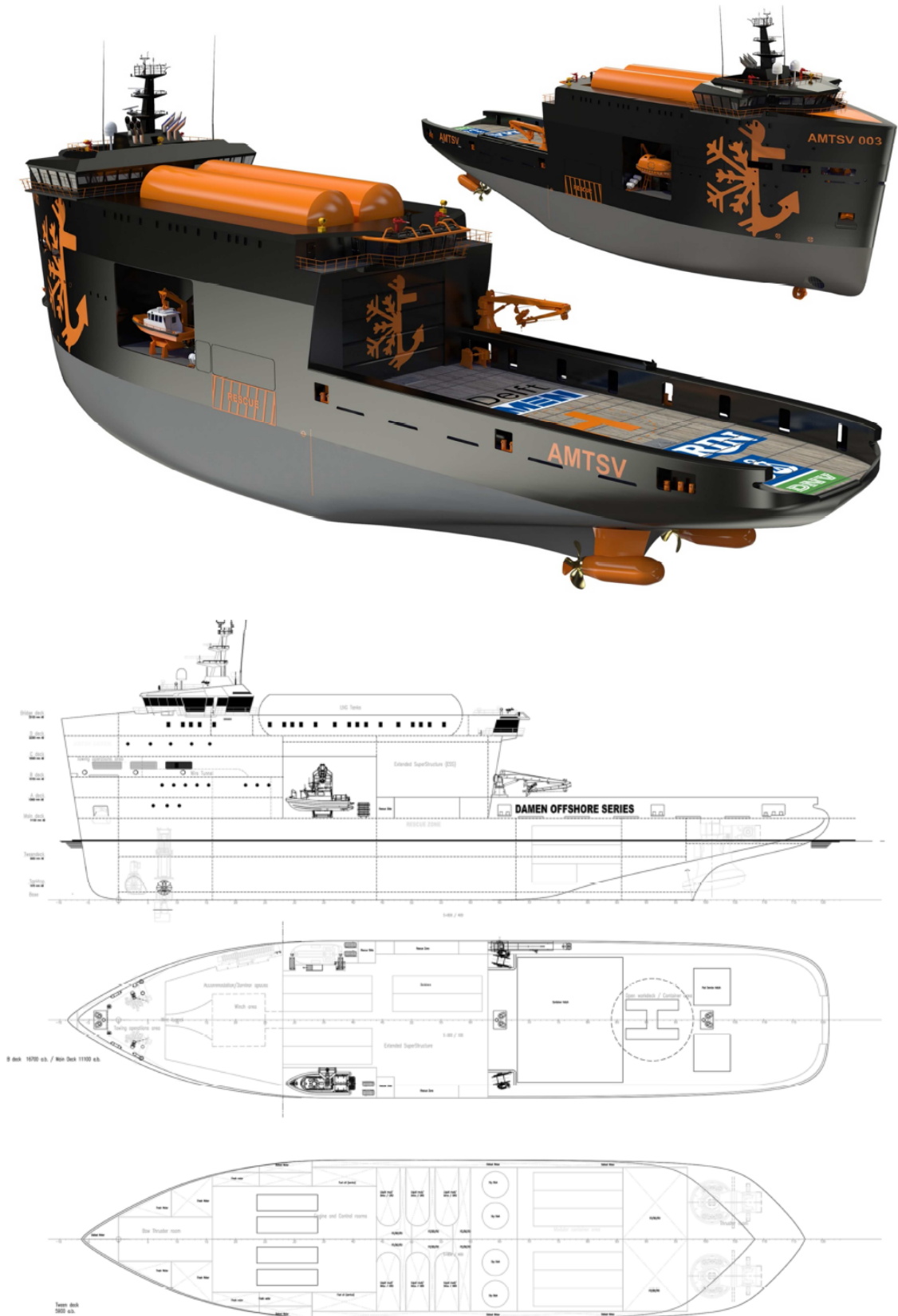
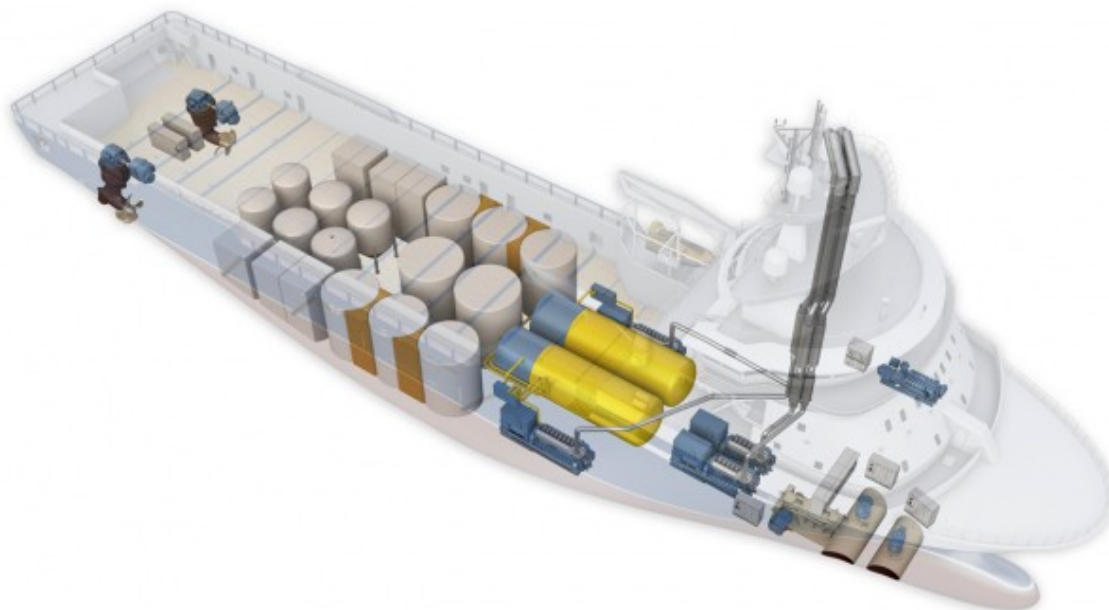


Figura 1. Arctic Modular Towing Supply Vessel, proyecto de Damen Shipyards



O este otro proyecto de Rolls-Royce:



*Figura 2. Proyecto de Rolls-Royce de propulsión con gas*

Todos los motores estándar de Wärtsilä cumplen con el nivel de emisiones de  $\text{NO}_x$  establecidos por la OMI. Además, esta compañía dispone de soluciones que pueden ser integradas en el buque proyecto para reducir significativamente las emisiones a la atmósfera de  $\text{NO}_x$  y de  $\text{SO}_x$ , cuando sea necesario, como el Wärtsilä  $\text{NO}_x$  reducir (NOR) o el Wärtsilä  $\text{SO}_x$  scrubber. En el caso de requerirse en un futuro alguno de estos sistemas no sería gran problema instalarlos en los sistemas de cámara de máquinas.

Se ha tratado de justificar lo mejor posible la elección de los distintos equipos y sistemas de la cámara de máquinas (combustible, aceite, sentinas, lodos, refrigeración, contraincendios, aire comprimido, exhaustación de gases, ventilación, agua y lastre). Sería necesario seleccionar una marca y un modelo para todos y cada uno de los equipos mencionados en este cuaderno, a fin de poder hacer una mejor estimación de pesos, potencia y presupuesto en los cuadernos posteriores.

Podría estudiarse la opción de dividir la cámara de máquinas mediante un mamparo longitudinal en crujía, de forma que se aumente el índice de compartimentado y, por lo tanto, la seguridad del buque frente a averías.

### **3.8. Cuaderno 8. Equipos y servicios**

El objetivo de este cuaderno es hacer la definición y dimensionamiento de los equipos y servicios exigidos por la reglamentación (Sociedad de Clasificación Lloyd's Register y la Normativa Internacional) y los específicos del buque para su misión.

Muchos de los buques de apoyo a plataformas llevan un servicio de contra incendios exterior. En el caso del buque proyecto, este sistema no se ha incluido dentro de los equipos. No obstante, si el armador considerase necesario este requisito para la misión del buque, su inclusión dentro de los equipos y servicios del buque podría realizarse sin necesidad de realizar grandes cambios en el diseño final del buque proyecto.

Entre los equipos de salvamento podría instalarse una red de rescate forzada (*Dacon Scoop*) en la Zona de Rescate (Rescue Zone). Para ello se podría emplear la grúa de estribor de la cubierta D. Esta red de rescate permite el rescate masivo de personas que están en el agua. Se dispone por el costado del buque y es de tipo red de cabo, generalmente cuadrangular, construida con cabo flotante de 20 mm diámetro. Puede disponer de flotadores para mantenerla sobre la superficie del mar y facilitar que las personas en el agua puedan agarrarse. El tamaño en anchura y longitud dependerá del buque donde se monte y de la función. Se estiba dentro de una envoltura en el costado del buque.



Figura 3. Red de rescate forzada (*Dacon Scoop*)

La definición de los equipos para el remolque y manejo de anclas se puede definir de una forma más exhaustiva según las exigencias que imponga el armador o el astillero constructor.

### 3.9. Cuaderno 9. Planta eléctrica

En este cuaderno se hizo la definición de la planta eléctrica del buque proeycto, teniendo en cuenta la estimación de la potencia eléctrica requerida por todos los consumidores en las distintas situaciones de carga y en la situación de emergencia.

A continuación se presenta el cuadro resumen con el régimen de utilización de los grupos electrógenos instalados en el buque proyecto: grupos principales y grupo de emergencia y puerto.

	Navegación	Maniobras	DP	Puerto	Emergencia
Potencia nominal (kW)	9825,5	6480,9	6643,5	746,6	490,3
Potencia requerida ( $\pm 2\%$ ) (kW)	10022	6610,5	6776,4	761,5	500,1
Nº grupos (3890 kW )	3	2	2	0	0
Potencia total entregada (kW)	11670	7780	7780	-	-
Nº grupos emergencia/puerto (841 kW)	-	-	-	1	1
Potencia total entregada (kW)	-	-	-	841	841
<b>Régimen MCR</b>	<b>85,9 %</b>	<b>85 %</b>	<b>87,1 %</b>	<b>90,5 %</b>	<b>59,5 %</b>

Tabla 3. Cuadro resumen del régimen d utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto

Para el suministro de gas al grupo de emergencia y puerto se puede estudiar la posibilidad de instalar otros tanques de gas CNG en la cubierta castillo, a popa del local del grupo de emergencia y puerto y del guardacalor.

Seria necesario repetir los cálculos añadiendo al balance eléctrico los equipos que se incorporasen en los cuadernos 7 y 8 en la segunda vuelta de la espiral de proyecto.

### 3.10. Cuaderno 10. Resistencia estructural

Una vez se tengan valores fiables del momento flector máximo y del esfuerzo cortante máximo, es necesario realizar una segunda iteración del proceso de dimensionamiento de los elementos estructurales. Con estos valores, se obtendrán nuevos factores de reducción local  $F_b$  y  $F_c$  con los que se podrá hacer de nuevo el escantillonado de los refuerzos estructurales, comprobando que se cumple con los valores mínimos de inercia y módulo resistente indicados por Lloyd's Register.

Se considera que, aunque con los escantillones calculados se cumple con las exigencias del proyecto, en otra vuelta de la espiral del proyecto convendría optimizar la estructura para disponer de un peso estructural menor.

En el escantillonado de los refuerzos estructural no se ha contemplado la fatiga como criterio de fallo, sino que tan sólo se ha contemplado el fallo por fluencia.

### 3.11. Cuaderno 11. Pesos y centro de gravedad del buque en rosca

El propósito de este cuaderno es determinar el peso del buque en rosca y la correspondiente posición del centro de gravedad del barco.

Como se explicó, el cálculo del peso en rosca es aproximado y su valor real se puede saber, una vez se construya el buque, mediante la experiencia de estabilidad.

El valor final estimado del peso en rosca fue de 3357,9 toneladas. Las especificaciones del proyecto exigen un peso muerto de 4500 toneladas y el buque base *Loke Viking*, con este mismo peso muerto y unas dimensiones principales muy similares a las del buque proyecto, tiene un peso en rosca de 3400 toneladas. Por lo tanto la estimación hecha se consideró satisfactoria. No obstante, en posteriores etapas del proyecto, se podrían hacer estimaciones con más detalle de los pesos y centros de gravedad del buque proyecto.

### **3.12. Cuaderno 12. Situaciones de carga y resistencia longitudinal**

Se deberán de repetir los cálculos una vez se realicen las modificaciones pertinentes en los cuadernos anteriores, comprobando que se cumple con los criterios mínimos de estabilidad, al mismo tiempo que los valores del momento flector y esfuerzo cortante están, para todas las situaciones de carga, por debajo del máximo permitido establecido en el cuaderno 10.

Las situaciones de carga, en el sentido de situaciones operativas de carga, son el punto de referencia para dimensionar tanques, compartimentos y hacer el escantillonado de los refuerzos.

En la fase de construcción se deberán tener en cuenta las prescripciones indicadas en el Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008) respecto a las precauciones contra la zozobra en la fase de construcción. En este código se indica que se estudiará cuidadosamente la disposición de las portas de desagüe para asegurar la máxima eficacia en el drenaje del agua que se acumule en cubiertas de tuberías o en nichos del extremo popel del castillo. La Administración prestará especial atención al drenaje adecuado de los puestos de estiba de tuberías, teniendo en cuenta las características del buque de que se trate. No obstante, el área prevista para el drenaje de los puestos de estiba de tuberías será superior a la prescrita para las portas de desagüe en las amuradas de la cubierta de carga, y en las aberturas no se instalarán obturadores. Todo buque dedicado a operaciones de remolque irá provisto de medios para soltar rápidamente el cabo de remolque.

En cuanto a las precauciones operacionales contra la zozobra, el Código IS 2008 indica que la carga estibada en cubierta se dispondrá con miras a evitar la obstrucción de las portas de desagüe o de las aberturas necesarias para que el agua corra desde los puestos de estiba de tuberías hacia dichas portas. Además, en todas las condiciones operacionales se mantendrá un francobordo a popa de 0,005L como mínimo.

### **3.13. Cuaderno 13. Presupuesto**

En este cuaderno se estimó el presupuesto del buque proyecto mediante datos reales facilitados por los fabricantes de los equipos o mediante aproximaciones preestablecidas en la bibliografía indicada.

Se llegó finalmente a un coste total de 24 millones 500 mil euros. Este valor es parecido al presupuesto de otros buques similares, por lo que se consideró adecuado.

### **3.14. Cuaderno 14. Comportamiento en aguas de la Costa de Cantabria**

En este cuaderno se hizo un estudio del comportamiento del buque en la mar fijándose en los valores de los datos históricos de las alturas de olas en el mar Cantábrico. El objetivo es la medida de la operatividad del buque proyecto en base al cumplimiento de unos criterios operacionales relacionados con el estudio de los movimientos y los esfuerzos producidos por las olas.

Tal como se explica en la referencia [5], la mejor forma de obtener el momento de amortiguamiento y las inercias del buque se basa en la realización de un ensayo de extinción de balance. Este ensayo es sencillo. Una vez preparado el modelo en el que se han reproducido no sólo el desplazamiento y las inercias del buque sino también la altura de su centro de gravedad corregido, se pone a flotar en el agua con velocidad nula y con el agua del canal inicialmente en reposo. Para comenzar el ensayo se da al modelo una cierta escora inicial, después se suelta el modelo y se registra la serie temporal del decaimiento de dicho balance. La escora inicial no debe ser muy pequeña para facilitar el que se puedan registrar varios ciclos de amortiguamiento. Además, esta escora inicial ha de aplicarse con cuidado para evitar que no se transmitan al modelo otros movimientos no deseados, especialmente derivas o guiñadas.

Este ensayo de extinción de balance también se puede llevar a cabo con el modelo avanzado a velocidad constante para analizar cómo aumenta el coeficiente de amortiguamiento con la velocidad.

Para seguir con el desarrollo de este buque, se debe tener en cuenta que el balance es el movimiento que con más frecuencia se trata de reducir en cualquier tipo de buque.

Se podría estudiar la instalación de quillas de balance en el buque proyecto u otro elemento para evitar los movimientos bruscos, pero no es frecuente en este tipo de buques instalar estos dispositivos. Aun así, en etapas posteriores del proyecto, siguiendo la espiral de proyecto, se podría estudiar, como se ha dicho, su incorporación al casco del buque proyecto.

Debido a que las especificaciones del proyecto exigen una velocidad de 17 nudos, con el objetivo de no comprometer el contrato de construcción, el

comportamiento del buque en la mar debe estudiarse de una forma más exhaustiva en fases posteriores de la espiral de proyecto. Las pruebas de mar previstas a la entrega del buque a su armador determinarían si el diseño realizado ha sido el correcto para cumplir con las especificaciones.

Dada la gran cantidad de información necesaria para calcular la operatividad de un buque, no es habitual obtenerla, salvo en algunos casos muy particulares, realizando ensayos de comportamiento en la mar. Los recursos necesarios para ello, tanto en tiempo como en dinero, resultarían excesivos, y la información necesaria para construir los modelos de los buques podría estar aún sin definir cuando se necesitase el estudio de operatividad de un proyecto.

Otra razón para no complicar demasiado estos cálculos reside en el hecho de que muchos de los estudios realizados hasta ahora para fijar los distintos criterios operativos que se aplican, se basan en la comparación de algunas pruebas en la mar con multitud de cálculos realizados con programas basados en la teoría lineal del comportamiento del buque en la mar, por lo que es recomendable mantener esta pauta.

La principal consecuencia de este cuaderno es que el comportamiento del buque en la mar debe considerarse desde las primeras fases de su diseño. Si se quiere mejorar el comportamiento en olas de un proyecto cuando éste está suficientemente avanzado, es muy probable que pueda ser necesario alterar alguna o todas las siguientes facetas del mismo:

- Dimensionamiento.
- Formas.
- Estructura.
- Disposición general: localización de los equipos más sensibles.
- Apéndices: sistemas de estabilización pasivos o activos.
- Disposición de las líneas de fondeo o de empujadores acimutales para el posicionamiento dinámico del sistema marino.

## 4. Tiempo estimado de elaboración del proyecto

En la siguiente tabla se indica aproximadamente el tiempo de elaboración de este proyecto.

Documento	Tiempo (horas)
Cuaderno 1	30
Cuaderno 2	65
Cuaderno 3	120
Cuaderno 4	80
Cuaderno 5	90
Cuaderno 6	105
Cuaderno 7	130
Cuaderno 8	60
Cuaderno 9	50
Cuaderno 10	70
Cuaderno 11	30
Cuaderno 12	40
Cuaderno 13	10
Cuaderno 14	20
Cuaderno 15	7
<b>TOTAL</b>	<b>907</b>

Tabla 4. Tiempo de elaboración del proyecto

## 5. Plegado de planos

La norma UNE 1-027-75 establece la forma de plegado de planos de papel para archivadores A4. Como norma general, los planos se deben plegar dejando siempre hacia el exterior el cuadro de rotulación, quedando en formato A4 vertical. Primero se dobla en forma de fuelle, realizando tantas dobleces verticales como sean necesarios en función del formato utilizado y después se pliega con dobleces horizontales, según se ve en la siguiente figura:

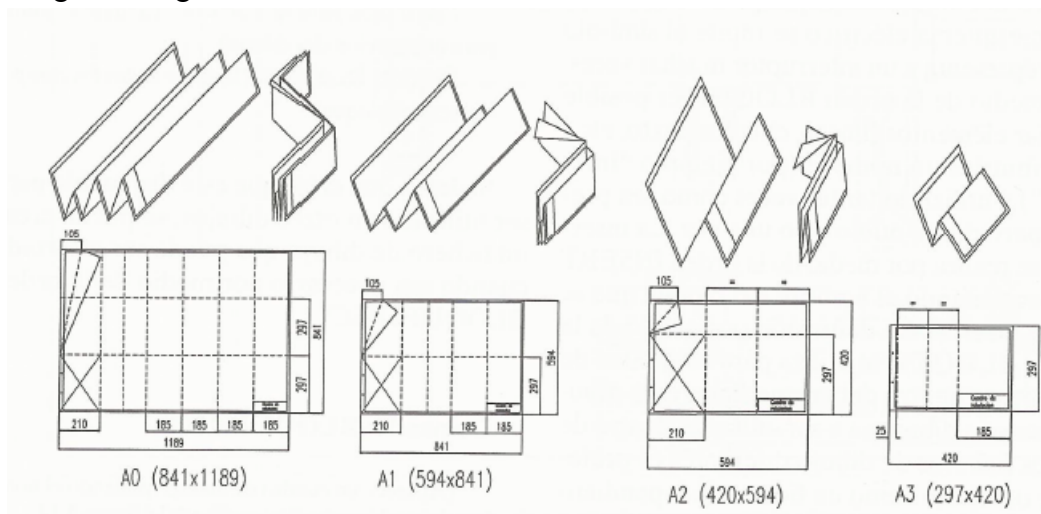


Figura 4. Plegado de diversos tamaños de papel hasta A4



## **6. Bibliografía general.**

### **6.1. Bibliografía básica**

- [1] Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013*.
- [2] Damen Shipyards. [Web en línea]. *Products*. <http://www.damen.com/>
- [3] Rolls-Royce. [Web en línea]. *Marine*. <> <http://www.rolls-royce.com/marine/>
- [4] Wärtsilä. [Web en línea]. *Engines & Generating sets*. <http://www.wartsila.com/>
- [5] José M<sup>a</sup> González Álvarez-Campana. *Comportamiento del buque en la mar. Aplicación*. ETSIN.
- [6] Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), adoptado el 4 de Diciembre de 2008 mediante Resolución MSC 367(85).
- [7] Jesús Félez y M<sup>a</sup> Luisa Martínez. *Dibujo industrial*. Editorial Síntesis. 3<sup>a</sup> Edición revisada. 2002.

### **6.2. Bibliografía complementaria**

- [1] Foto de portada. Brage Viking. <> <http://rigmover.com/>
- [2] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz y Manuel Meizoso Fernández. *Proyecto básico del buque mercante*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. 1997.

